

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації експериментальних досліджень
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК __ 621.317.2 _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Ю.М. Туз
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ __ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(код і назва)

на тему: «Дослідження режимів напруги високовольтних установок з нелінійним навантаженням» _____

Виконав: студент 2 курсу, групи ВА-81мп
(шифр групи)

Ванчак Іван Іванович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., Шумков Ю.С. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Стартап-проекту д.е.н., доцент Бояринова К. О. _____
(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Інститут (факультет) _____ Приладобудівний факультет _____
(повна назва)

Кафедра автоматизації експериментальних досліджень
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Ю.М. Туз
(підпис) (ініціали, прізвище)
« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Ванчаку Івану Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Дослідження режимів напруги високовольтних установок з нелінійним навантаженням _____

_____,
науковий керівник дисертації Шумков Юрій Сергійович, к.т.н., доцент _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № 3848-с

2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2019 р. _____

3. Об'єкт дослідження Джерело високої напруги постійного струму з нелінійним навантаженням _____

4. Предмет дослідження Режим роботи високовольтного джерела напруги постійного струму _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Огляд існуючих аналогів та порівняння з запропонованим. 2. Огляд запропонованого рішення. 3. Обґрунтування. 4. Огляд економічної доцільності (розробка стартап проекту). 5. Висновки _____

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

Графіки часових процесів, функціональна схема _____

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 тези доповіді на конференції та 1 наукова стаття за темою магістерської дисертації _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Бояринова К. О. доцент		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Підготовка дослідницького матеріалу	02.09.19	
2	Огляд джерела високої напруги еталону постійного струму	16.09.19	
3	Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму	22.10.19	
4	Аналіз результатів	1.11.19	
5	Підготовка та оформлення пояснювальної записки	17.11.19	

Студент

(підпис)

Ванчак І. І.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Шумков Ю. С.
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Обсяг – 90 сторінка машинописного тексту.

Ілюстрацій – 14.

Таблиць – 33.

Перелік ключових слів: *еталон, стаціонарна частина еталона, пересувна частина еталона, засоби вимірювальної техніки.*

Об'єктом дослідження є високе джерело постійного струму. За допомогою програми MathCad були розраховані режими високовольтного джерела напруги постійного струму еталону в діапазоні від 1 до 180 кВ.

SUMMARY

The amount of the research is 90 pages of typewritten text.

The number of illustrations is 14.

The number of tables is 33.

Key words: *standard, permanent part of the standard, movable part of the standard, and means of the measuring equipment.*

The object of the research is high source of the constant current. With the usage of MathCad program the regimes of high-powered voltage source of the constant current standard in the range from 1 to 180 KV were calculated.

Перелік скорочень

СЧЕ – стаціонарна частина еталона

ПЧЕ – пересувна частина еталона

ЗВТ – засоби вимірювальної техніки

МВН – міри високої напруги

БСС – блок стабілізації струму

БІ – блок індикації

БЗ – блок захисту

БЖ – блок живлення

СЕЗ – система енергетичного забезпечення

ОРН – однофазний регулятор напруги

ВФП – випрямно-фільтруючий пристрій

ЗВ – засіб вимірювання

ВН – висока напруга

КД – коефіцієнт ділення

СКВ – середньоквадратичне відхилення

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1. ЕТАЛОН ОДИНИЦІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ НАПРУГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ДІАПАЗОНІ ВІД 1 ДО 180 кВ	11
1.1. Призначення	12
1.2. Технічні дані	13
1.2.1. Технічні характеристики стаціонарної частини еталона	13
1.2.2. Технічні характеристики пересувної частини еталона	15
1.3. Склад	17
1.3.1. Склад стаціонарної частини еталона	17
1.3.2. Склад пересувної частини еталона	18
1.4. Принцип дії та опис	18
1.4.1. Принцип дії та опис стаціонарної частини еталона	18
1.4.2. Опис низьковольтного блока	24
1.4.3. Принцип дії стаціонарної частини еталона	24
1.4.4. Принцип дії та опис пересувної частини еталона	25
1.5. Порядок роботи	27
1.6. Метрологічна атестація	32
1.7. Технічне обслуговування	32
Висновки до розділу	34
2. ДЖЕРЕЛО ВИСОКОЇ НАПРУГИ ЕТАЛОНУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ 1 – 180 кВ	35
2.1. Призначення	35
2.2. Технічні дані	36
2.3. Склад	37
2.4. Пристрій і робота установки та її складових частин	38
2.4.1. Принцип дії	38
2.4.2. Конструкція	38

2.5.	Загальні вказівки щодо експлуатації	40
2.6.	Вказівки заходів безпеки	40
2.7.	Розміщення та монтаж	42
2.8.	Підготовка до роботи	43
	Висновки до розділу	45
3.	АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ ЕТАЛОННОЇ УСТАНОВКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПК	46
3.1.	Опис роботи програми MathCad	46
3.2.	Аналітичний метод дослідження високовольтних установок постійного струму	47
3.3.	Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму	52
3.3.1.	Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 ($R_2=1 \cdot R_H$)	57
3.3.2.	Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 ($R_2=1,25 \cdot R_H$)	58
3.3.3.	Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 ($R_2=1,67 \cdot R_H$)	59
3.3.4.	Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 ($R_2=2,5 \cdot R_H$)	60
3.3.5.	Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 ($R_2=5 \cdot R_H$)	61
3.4.	Аналіз впливу опорів R_2 та R_3 на значення коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_n в різних режимах живлення установки	62

Висновки до розділу	69
4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «Дослідження режимів напруги високовольтних установок з нелінійним навантаженням	70
4.1. Опис ідеї проекту	71
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту	72
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	73
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	74
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	81
Висновки до розділу	86
ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

ВСТУП

Сучасний етап науково-технічного розвитку характеризується широким застосуванням техніки високих напруг в електрофізичних, екологічних, електротехнічних, енергетичних установках і системах. Дана обставина, а також об'єктивно існуюча тенденція підвищення вірогідності інформації викликають необхідність розвитку вимірювань високих напруг для сталих і перехідних режимів.

Підвищення точності вимірювання високих напруг у системах постійного струму промислової частоти є одним з першочергових завдань.

Еталон високої напруги постійного струму (ДЕТУ 08-04-99) створено в 1999р. у ДП «Укрметртестстандарт» (на той час УкрЦСМ) у співробітництві з ВАТ «Український науково-дослідний, проектно-конструкторський та технологічний інститут трансформаторобудування» (ВАТ «ВІТ») м. Запоріжжя.

Розмір одиниці напруги постійного струму передається від державного еталона ДЕТУ 08-03-07 через відповідні міри до калібраторів напруги, які відтворюють значення 1 кВ, а далі за допомогою спеціальних пристроїв 180 кВ. Основою цих спеціальних пристроїв є нелінійні напівпровідникові елементи (стабілітрони), які здатні відтворювати стабільне значення напруги при силі електричного струму, забезпеченій із заданою точністю.

В основі еталона лежить метод масштабного перетворення вихідної напруги від 1кВ до 180 кВ.

1. ЕТАЛОН ОДИНИЦІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ НАПРУГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В ДІАПАЗОНІ ВІД 1 ДО 180 кВ

Еталон одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 180 кВ складається з комплексу засобів вимірювальної техніки:

- міри електричної напруги постійного струму на 10 і 180 кВ;
- пристрої стабілізації робочого струму мір електричної напруги для кожної міри;
- вимірювачі електричної напруги постійного струму для кожної міри.

Засоби вимірювальної техніки зі складу еталона об'єднані в дві частини: стаціонарну і пересувну.

Стаціонарна частина еталона (СЧЕ) складається з:

- міри електричної напруги постійного струму на 180 кВ (МВН-180);
- пристрою стабілізації робочого струму МВН-180 (низьковольтний блок НБ-1000);
- вимірювача електричної напруги постійного струму (вольтметр В7-34А).

Пересувна частина еталона (ПЧЕ) складається з:

- міри електричної напруги постійного струму на 10 кВ (МВН-10);
- пристрою стабілізації робочого струму МВН-10 (низьковольтний блок НБ-100);
- вимірювача електричної напруги постійного струму (вольтметр В7-34А)[1].

1.1. Призначення

Еталон призначений для відтворення та зберігання одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 180 кВ і передавання розміру одиниці за допомогою робочих еталонів робочим засобам вимірювальної техніки (ЗВТ) з метою забезпечення єдності вимірювань в країні.

Стаціонарна частина еталона використовується для передавання розміру одиниці робочим еталонам і робочим ЗВТ в високовольтній лабораторії ДП "Укрметртестстандарт".

Пересувна частина еталона використовується для передавання одиниці робочим еталонам 1-го розряду – вимірювачам напруги диференційним до 800 кВ на місці їх експлуатації[1-2].

Умови застосування:

- температура навколишнього повітря (20 ± 2) °C;
- відносна вологість повітря від 30 до 80 %;
- атмосферний тиск від 86 до 106,7 кПа;
- напруга мережі живлення (220 ± 22) В;
- частота мережі живлення ($50 \pm 0,2$) Гц;
- коефіцієнт пульсації мережі живлення, не більше 0,1%;
- коефіцієнт не синусоїдальності напруги мережі живлення, не більше 5%;
- споживна потужність від 0,5 до 12 кВА.

Умови зберігання:

- температура навколишнього повітря, (20 ± 10) °C;
- відносна вологість повітря від 30 до 80 %;
- атмосферний тиск від 86 до 106,7 кПа.

1.2. Технічні дані

1.2.1. Технічні характеристики стаціонарної частини еталона

Основні технічні характеристики наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики СЧЕ.

Найменування	Позначення	Одиниці вимірювань	Значення, вид
1	2	3	4
Діапазон відтворення високої напруги	U_x	кВ	1 – 180
Номінальні значення високої напруги в наборі складених мір	U_{MH}	кВ	1,2,3,4,5,6,7,8,9, 10,20,30,40,50,60, 70,80,90,100,110, 120,130,140,150, 160,170,180
Кількість однозначних мір в наборі складених мір, у тому числі: І типу, з номінальним значенням високої напруги рівним 1 кВ ІІ типу, з номінальним значенням високої напруги рівним 10 кВ	M1-M27	шт	27
	M1-M10	шт	10
	M11-M27	шт	17
Верхня границя вимірювання вихідної напруги низьковольтного блока НБ-1000	$U_{вих}$	В	1000
Номінальний струм протікаючий у вимірювальному колі	I_H	мА	5,000
Відхилення струму протікаючого у вимірювальне коло, від номінального при використанні НБ-1000	ΔI_H	мА не більше	$\pm 0,005$

Продовження таблиці 1.1.

Відхилення дійсного значення напруги мір високої напруги від номінального значення	$\Delta U_{\text{мн}}$	відн.один., не більше	$1 \cdot 10^{-4}$
СКВ результатів вимірювання еталона при відтворення розміру одиниці	S_B	відн.один.,	від $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-5}$
Невилучена систематична відносна похибка еталона для кожної границі вимірювань	$\Theta \Sigma_{\text{нсп}}$	відн.один., не більше	$3 \cdot 10^{-4}$
СКВ результатів вимірювання при передаванні розміру одиниці	$S_{\Sigma \epsilon}$	відн.один., не більше	$3 \cdot 10^{-5}$
Нестабільність еталона за рік	V_B	відн.один., не більше	$2 \cdot 10^{-4}$
Полярність вимірюваної високої напруги			позитивна
Час безперервної роботи	$T_{\text{роб}}$	год	4

СЧЕ має захист від перевантажень за струмом. Якщо струм у вимірювальному колі зросте до значення (13 ± 2) мА, захист забезпечить відключення джерела високої напруги. СЧЕ має захист від перенапруг, який відключає джерело високої напруги при перевищенні напруги 1023 В на НБ-1000[5].

Час, необхідний для прогріву і встановлення робочого режиму НБ-1000 з моменту включення в мережу, дорівнює 30 хвилин при роботі в умовах застосування.

Час, необхідний для прогріву і встановлення робочого режиму МВН-180 після включення на номінальну напругу, що дорівнює 180 кВ, складає 30 хвилин при роботі в умовах застосування.

Габаритні розміри МВН-180 не більше 750 х 750 х 2390 мм, маса – не більше 160 кг.

Габаритні розміри НБ-1000 не більше 490 х 470 х 190 мм, маса – не більше 8 кг.

Габаритні розміри вольтметра В7-34А не більше 488 х 113 х 475 мм, маса не більше 13 кг.

1.2.2. Технічні характеристики пересувної частини еталона

Основні технічні характеристики наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні технічні характеристики ПЧЕ.

Найменування	Позначення	Одиниці вимірювань	Значення, вид
1	2	3	4
Діапазон відтворення високої напруги	U_x	кВ	1 – 10
Номінальні значення високої напруги в наборі складених мір	U_{mn}	кВ	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
Кількість однозначних мір в наборі складених мір з номінальним значенням високої напруги рівним 1 кВ	M1-M10	Шт.	10
Верхня границя вимірювання вихідної напруги низьковольтного блока НБ-1000	$U_{вих}$	В	100
Номінальний струм протікаючий у вимірювальному колі	I_n	мА	5,000
Відхилення струму протікаючого у вимірювальне коло, від номінального при використанні НБ-100	ΔI_n	мА не більше	$\pm 0,005$

Продовження таблиці 1.2

Відхилення дійсного значення напруги мір високої напруги від номінального значення	$\Delta U_{\text{мн}}$	відн.один., не більше	$1 \cdot 10^{-4}$
СКВ результатів вимірювання еталона при відтворення розміру одиниці	$S_{\text{в}}$	відн.один.,	від $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-5}$
Невилучена систематична відносна похибка еталона для кожної границі вимірювань	$\Theta \Sigma_{\text{нсп}}$	відн.один., не більше	$3 \cdot 10^{-4}$
СКВ результатів вимірювання при передаванні розміру одиниці	$S_{\varepsilon \Sigma \text{в}}$	відн.один., не більше	$3 \cdot 10^{-5}$
Нестабільність еталона за рік	$V_{\text{в}}$	відн.один., не більше	$2 \cdot 10^{-4}$
Полярність вимірюваної високої напруги			позитивна
Час безперервної роботи	$T_{\text{роб}}$	год	4

ПЧЕ має захист від перевантажень за струмом. Якщо струм у вимірювальному колі МВН-10 зросте до значення (13 ± 2) мА, захист забезпечить відключення джерела високої напруги. ПЧЕ має захист від перенапруг, який відключає джерело високої напруги при перевищенні напруги 106 В на НБ-100[6].

Час, необхідний для прогріву і встановлення робочого режиму НБ-100 з моменту включення в мережу, дорівнює 30 хвилин при роботі в умовах застосування.

Час, необхідний для прогріву і встановлення робочого режиму МВН-10 після включення на номінальну напругу, що дорівнює 10 кВ, складає 30 хвилин при роботі в умовах застосування.

Габаритні розміри МВН-10 складає не більше 232 x 232 x 490 мм, маса – не більше 16 кг.

Габаритні розміри НБ-100 складає не більше 290 x 470 x 190 мм, маса – не більше 5 кг.

Габаритні розміри вольтметра В7-34А не більше 488 x 113 x 475 мм, маса не більше 13 кг.

1.3. Склад

1.3.1. Склад стаціонарної частини еталона

Склад СЧЕ відповідає вказаному в таблиці 1.3[1]

Таблиця 1.3 – Склад стаціонарної частини еталона.

Найменування	Виконувана функція	Кількість	Примітка
Міра високої електричної напруги МВН-180	Стабілізатор високої напруги	I	Складається з 27 однозначних мір напруги
Низьковольтний блок	Стабілізатор струму	I	Складається з Б-100 і Б-1000
Кабель з'єднувальний К1	З'єднує роз'єм «Вихід» Б-100 з роз'ємом «Вхід» Б-1000	I	-
Кабель К2	З'єднує «Вхід» Б-1000 з виходом МВН-180	I	Довжина 15 м
Кабель К3	З'єднує «Вихід» Б-100 з вольтметром В7-34	I	-
Кабель К4	З'єднує «Вихід» Б-1000 з роз'ємом «100 В» Б-1000	I	-
Кабель К5	З'єднує роз'єм «1000 В» НБ-1000 з вольтметром В7-34	I	-
Провідник калібрований гнучкий №1	З'єднує роз'єм «Вхід» Б-100 з виводом «мінус» МВН-180	I	Довжина 3,5 м
Вольтметр В7-34А	Вимірювання напруги постійного струму	I	-

Продовження таблиці 1.3

Провідник калібрований гнучкий №2	З'єднує вивід «+» калібратора постійної напруги з входом («+») міри	I	Довжина 3,5 м
---	--	---	---------------

1.3.2. Склад пересувної частини еталона (ПЧЕ)

Склад ПЧЕ відповідає вказаному в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Склад пересувної частини еталона.

Найменування	Виконувана функція	Кількість	Примітка
Міра високої електричної напруги МВН-10	Стабілізатор високої напруги	I	Складається з 10 однозначних мір напруги
Низьковольтний блок	Стабілізатор струму	I	НБ-100
Кабель К1	З'єднує «Вхід» НБ-100 з виходом МВН-10	I	Довжина 15 м
Кабель К2	З'єднує «Вихід» НБ-100 з вольтметром В7-34	I	
Провідник калібрований гнучкий №1	З'єднує роз'єм «Вхід» НБ-100 з «мінусом» МВН-10	I	Довжина 3,5 м
Провідник калібрований гнучкий №2	З'єднує вивід «+» калібратора постійної напруги з входом («+») МВН-10	I	Довжина 3,5 м
Вольтметр В7-34А	Вимірювання напруги постійного струму	I	-

1.4. Принцип дії та опис**1.4.1. Принцип дії та опис стаціонарної частини еталона (СЧЕ)**

Стаціонарна частина еталона (СЧЕ) конструктивно складається з МВН-180, НБ-1000, з'єднаних між собою електрично коаксіальним кабелем К2, та вольтметра В7-34А.

МВН-180 являє собою набір складених мір високої напруги до 180кВ.

Набір складених мір високої напруги МВН-180 – це спеціально підібраний комплект, що складається з однозначних мір двох типів. Всього однозначних мір 27.

Однозначні міри I типу – це міри високої напруги з номінальним значенням напруги, що дорівнює 1 кВ.

Позначення мір I типу: М1, М2, М3, М4, М5, М6, М7, М8, М9, М10.

Однозначні міри II типу – це міри високої напруги з номінальним значенням напруги, що дорівнює 10 кВ.

Позначення мір II типу: М11, М12, М13, М14, М15, М16, М17, М18, М19, М20, М21, М22, М23, М24, М25, М26, М27.

Всі міри в наборі, електрично з'єднані послідовно, мають 27 входів і один загальний вихід. Це дозволяє одержати складені міри високої напруги з номінальними значеннями напруги 1 кВ...10 кВ в діапазоні від 1 кВ до 10 кВ і номінальними значеннями напруги 10 кВ...180 кВ в діапазоні від 10 кВ до 180 кВ[7].

Конструктивно набір складених мір високої напруги, розміщений у високовольтному блоці, являє собою колону з трьох встановлених одиниць на другий модуль. Кожний модуль розрахований на високу напругу, що дорівнює 60 кВ.

У верхній і нижній частинах конструкції, а також в місцях з'єднання модулів один з другим, встановлені тороїдальні екрани. Конструкція встановлена на металевій рамі з роликами для переміщення по випробному полю.

Кожний модуль являє собою конструкцію з 20 склотекстолітових плат, на яких розміщені послідовно з'єднані стабілітрони типу Д818. Кожна плата розрахована на робочу високу напругу 3 кВ і розділена на ділянки по 1 кВ.

У МВН-180 60 плат і 180 ділянок. Кожна ділянка, розрахована на напругу 1 кВ, складається з 120 послідовно з'єднаних стабілітронів Д818, які є основними елементами мір високої напруги.

Однозначні міри з номінальним значенням високої напруги міри $U_{\text{мн}}$, що дорівнюють 1 кВ, складаються з однієї ділянки, а міри з номінальним значенням напруги міри що дорівнюють 10 кВ, складаються з 10 ділянок.

Кожна ділянка і всі плати пронумеровані і промарковані. Маркування складається з номера плати і номера ділянки, наприклад:

- «I – I» - означає: 1-а плата, 1-а ділянка;
 «I – 2» - означає: 1-а плата, 2-а ділянка;
 «60 – 3» - означає: 60-а плата, 3-я ділянка;

Нумерація плат іде знизу до верху.

Всі міри промарковані табличкою, на якій вказана номінальна напруга міри:

1 кВ 10 кВ 180 кВ .

Характеристики однозначних мір наведені в таблиці 1.5[8]

Таблиця 1.5 – Характеристики однозначних мір.

Номер міри (умовне позначення)	Номінальне значення напруги міри, В	Ділянки, що входять до складу міри (номер плати – номер ділянки)	Точки під'єднання до мір, кВ	
			вхід, високо- потенц. кінець	вихід, високо- потенц. кінець
1	2	3	4	5
M1	1000	1-1	1	0
M2	1000	1-2	2	1
M3	1000	1-3	3	2
M4	1000	2-1	4	3
M5	1000	2-2	5	4
M6	1000	2-3	6	5
M7	1000	3-1	7	6
M8	1000	3-2	8	7
M9	1000	3-3	9	8
M10	1000	4-1	10	9
M11	10000	4-2; 4-3; 5-1; 5-2; 5-3; 6-1; 6-2; 6-3; 7-1; 7-2	20	10

Продовження таблиці 1.5

M12	10000	7-3; 8-1; 8-2; 8-3; 9-1; 9-2; 9-3; 10- 1; 10-2; 10-3	0	20
M13	10000	11-1; 11-2; 11-3; 12-1; 12-2; 12-3; 13-1; 13-2; 13-3; 14-1	40	30
M14	10000	14-2; 14-3; 15-1; 15-2; 15-3; 16-1; 16-2; 16-3; 17-1; 17-2	50	40
M15	10000	17-3; 18-1; 18-2; 18-3; 19-1; 19-2; 19-3; 20-1; 20-2; 20-3	60	50
M16	10000	21-1; 21-2; 21-3; 22-1; 22-2; 22-3; 23-1; 23-2; 23-3; 24-1	70	60
M17	10000	24-2; 24-3; 25-1; 25-2; 25-3; 26-1; 26-2; 26-3; 27-1; 27-2	80	70
M18	10000	27-3; 28-1; 28-2; 28-3; 29-1; 29-2; 29-3; 30-1; 30-2; 30-3	90	80
M19	10000	31-1; 31-2; 31-3; 32-1; 32-2; 32-3; 33-1; 33-2; 33-3; 34-1	100	90
M20	10000	34-2; 34-3; 35-1; 35-2; 35-3; 36-1; 36-2; 36-3; 37-1; 37-2	110	100

Продовження таблиці 1.5

M21	10000	37-3; 38-1; 38-2; 38-3; 39-1; 39-2; 39-3; 40-1; 40-2; 40-3	120	110
M22	10000	41-1; 41-2; 41-3; 42-1; 42-2; 42-3; 43-1; 43-2; 43-3; 44-1	130	120
M23	10000	44-2; 44-3; 45-1; 45-2; 45-3; 46-1; 46-2; 46-3; 47-1; 47-2	140	130
M24	10000	47-3; 48-1; 48-2; 48-3; 49-1; 49-2; 49-3; 50-1; 50-2; 50-3	150	140
M25	10000	51-1; 51-2; 51-3; 52-1; 52-2; 52-3; 53-1; 53-2; 53-3; 54-1; 54-2	160	150
M26	10000	54-3; 55-1; 55-2; 55-3; 56-1; 56-2; 56-3; 57-1; 57-2	170	160
M27	10000	57-3; 58-1; 58-2; 58-3; 59-1; 59-2; 59-3; 60-1; 60-2; 60-3	180	170

Однозначні міри високої напруги M1,M2...M27 можна використовувати як окремо, так і в будь-якому наборі, з'єднуючи послідовно в складені міри MBH-1, MBH-2..., MBH-180 і одержуючи напруги номінальні значення яких рівні 1,2,...180 кВ відповідно.

Рекомендується складати набір складених мір на потрібне значення високої напруги, починаючи з першої міри M1 і приєднуючи наступні.

Характеристика набору складених мір MBH подана в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Характеристика набору складених мір МВН.

Умовне позначення мір в еталонному наборі мір	Номінальне значення напруги МВН, кВ	Склад мір (сума номерів(позначень) однозначних мір)
1	2	3
МВН-1	1	M1
МВН-2	2	M1+M2
МВН-3	3	M1+M2+M3
МВН-4	4	M1+M2+M3+M4
МВН-5	5	M1+M2+M3+M4+M5
МВН-6	6	M1+M2+M3+M4+M5+M6
МВН-7	7	M1+M2+M3+M4+M5+M6+M7
МВН-8	8	M1+M2+M3+...+M7+M8
МВН-9	9	M1+M2+M3+...+M8+M9
МВН-10	10	M1+M2+M3+...+M9+M10
МВН-20	20	M1+M2+M3+...+M10+M11
МВН-30	30	M1+M2+M3+...+M11+M12
МВН-40	40	M1+M2+M3+...+M12+M13
МВН-50	50	M1+M2+M3+...+M13+M14
МВН-60	60	M1+M2+M3+...+M14+M15
МВН-70	70	M1+M2+M3+...+M15+M16
МВН-80	80	M1+M2+M3+...+M16+M17
МВН-90	90	M1+M2+M3+...+M17+M18
МВН-100	100	M1+M2+...+M18+M19
МВН-110	110	M1+M2+...+M19+M20
МВН-120	120	M1+M2+...+M20+M21
МВН-130	130	M1+M2+...+M21+M22
МВН-140	140	M1+M2+...+M22+M23

Продовження таблиці 1.6

МВН-150	150	M1+M2+...+M23+M24
МВН-160	160	M1+M2+...+M24+M25
МВН-170	170	M1+M2+...+M25+M26
МВН-180	180	M1+M2+...+M26+M27

1.4.2. Опис низьковольтного блока

Низьковольтний блок являє собою прилад, що складається з блока Б-100 і розширювача границь Б-1000, об'єднаних в одному металевому корпусі.

Б-100 складається з блока стабілізації струму (БСС), блока індикації (БІ), блока захисту (БЗ), блока живлення (БЖ). Б-100 являє собою стабілізатор струму, за допомогою якого у вимірювальному колі підтримується струм $I_n = (5,000 \pm 0,005) \text{ мА}$ при зміні вхідної напруги від 0 до 100 (В). Б-100 використовується для мір напругою від 1 до 10 кВ.

Б-1000 при підключенні його до Б-100 дозволяє розширити границю вимірювання напруги до 1000 В при включенні мір з напругою вище 10 кВ.

Низьковольтний блок також виконує функції індикації струму у вимірювальному колі, контролю вихідної напруги, а також захисту і сигналізації.

1.4.3. Принцип дії стаціонарної частини еталону (СЧЕ)

Для відтворення напруги необхідно повільно збільшувати напругу U_x до значення на 100...1000 В більшого, ніж номінальне значення міри U_{mn} . У той момент, коли висока напруга U_x перевищує номінальну напругу міри U_{mn} , пройде лавинний пробій нелінійних елементів – стабілітронів і у вимірювальному колі потече струм. Як тільки значення струму I досягає 5,000 мА, подальший ріст струму припиниться, і на вході низьковольтного блока з'явиться напруга $U_{вих}$, яка з високою точністю вимірюється вольтметром В7-34А. Вольтметр підключається до виходу «А» НБ.

Значення відтвореної високої напруги U_x відповідає формулі (1.1):

$$U_x = U_{mn} + U_{вих} \quad (1.1)$$

Напруга міри МВН-180 U_{mn} при номінальному струму I_n відома з великою точністю. Якщо $U_{вих}$ перевищує границю вимірювання 110 кВ блока-100, або границю вимірювання 1050 В блока Б-1000 на виходах захисту НБ-1000 з'являється відповідні сигнали, які викликають відключення джерела високої напруги[1].

Еталон має схему захисту від обриву з'єднувального кабелю. Для цього між низько потенціальним виводом високовольтного блока і виводом «земля» паралельно роз'єму для підключення з'єднувального кабелю включений ланцюжок з семи стабілітронів типу КС 680. Зворотній струм стабілітронів не перевищує 0,5 мкА і на роботу еталона в нормальному режимі не впливає.

При аварійному розриві з'єднувального кабелю ланцюжок стабілітронів відкривається при напрузі 1050 В, що запобігає аварійному підвищенню напруги на вході низьковольтного блока.

1.4.4. Принцип дії та опис пересувної частини еталона (ПЧЕ)

ПЧЕ конструктивно складається з МВН-10, НБ-100, електрично з'єднаних коаксіальним кабелем К1, та вольтметра В7-34А.

МВН-10 являє собою набір з 12 однозначних мір високої напруги: десяти робочих мір М1 – М10; двох запасних мір, які включені: зап.1, зап.2. Номінальне значення напруги кожної однозначної міри дорівнює 1 кВ. Кожна однозначна міра являє собою конструкцію з 120 послідовно з'єднаних, спеціально відібраних стабілітронів типу Д818Д, які знаходяться на склотекстолітових платах з гніздами «вхід» та «вихід» на кожній мірі. Однозначні міри високої напруги М1...М10 можливо використовувати в

любому наборі, з'єднуючи їх послідовно в складені міри MBH-1, MBH-2, ... MBH-10 і отримуючи номінальну напругу ряду: 1,2, ...10 кВ. Дві запасні атестовані однозначні міри дозволяють при необхідності провести заміну при відмові в роботі робочих мір.

MBH-10 має один вхід, призначений для підключення до джерела високої напруги постійного струму позитивної полярності і один вихід, що ізолюваний від землі, для з'єднання з низьковольтним блоком за допомогою коаксіального кабеля.

До складу низьковольтного блока НБ-100 входять блок стабілізації струму (БСС), блок індикації (БІ), блок захисту (БЗ), блок живлення (БЖ). Всі блоки конструктивно зібрані в одному металевому корпусі.

Низьковольтний блок НБ-100 являє собою стабілізатор струму за допомогою якого в вимірювальному колі підтримується струм $I = (5 \pm 0,005)$ мА при зміні напруги від 0 до 100 В. Низьковольтний блок НБ-100 також виконує функції індикації струму в вимірювальному колі, контролю вихідної напруги, а також захисту і сигналізації.

Для відтворення напруги плавно збільшити вимірювальну напругу U_x до значення, яке дорівнює (чи більше на 10...100 В) номінальному значенню міри $U_{м.н.}$. В той час, коли висока напруга U_x , перевищує $U_{м.н.}$, створиться лавиновий пробій нелінійних елементів, і в вимірювальному колі потече струм. Коли величина струму I досягне номінального значення 5,000 мА подальший ріст струму припиниться і на вході низьковольтного блоку з'явиться напруга $U_{вих}$, яка з високою точністю вимірюється вольтметром В7-34, що підключається до виходу «А» низьковольтного блока.

Значення відтвореної високої напруги U_x розраховується за формулою (1.2):

$$U_x = U_{м.н.} + U_{вих} \quad (1.2)$$

Напруга міри MBH-10 $U_{м.н.}$ при номінальному струмі I_n відома з

великою точністю. Якщо з яких-небудь причин $U_{вих}$ перевищує границю вимірювання 110 В низьковольтного блока, на входах захисту низьковольтного блока з'являється сигнали, які викличуть відключення джерела високої напруги.

ПЧЕ має захист від обриву з'єднувального кабелю. Для цього між виходом високовольтного блока і «землею», паралельно роз'єму для підключення з'єднувального кабелю, підключений стабілітрон типу КС 680. Зворотній струм стабілітрону не перевищує 0,5 мкА і на роботу ПЧЕ в нормальному режимі не впливає[8].

При аварійному розриві з'єднувального кабелю стабілітрон відкривається при напрузі 150 В, що запобігає аварійному підвищенню напруги на вході низьковольтного блока.

1.5. Порядок роботи

Для передавання розмірів одиниці високої напруги постійного струму від еталона високої напруги потрібно виконувати наступні операції:

1. Підготувати до роботи еталон у відповідності з розділом 1.4. цього технічного опису.
2. Зібрати схему настройки низьковольтного блока НБ, наведену на рис.1.2.
3. Перевірити дійсне значення струму у вимірювальному колі НБ-100 (при зміні вхідної напруги від 10 до 100 В і НБ-1000 (при зміні вхідної напруги від 100 до 1000 В).

Структурна схема визначення дійсних значень напруги ділянок по 1 кВ
еталона напруги постійного струму

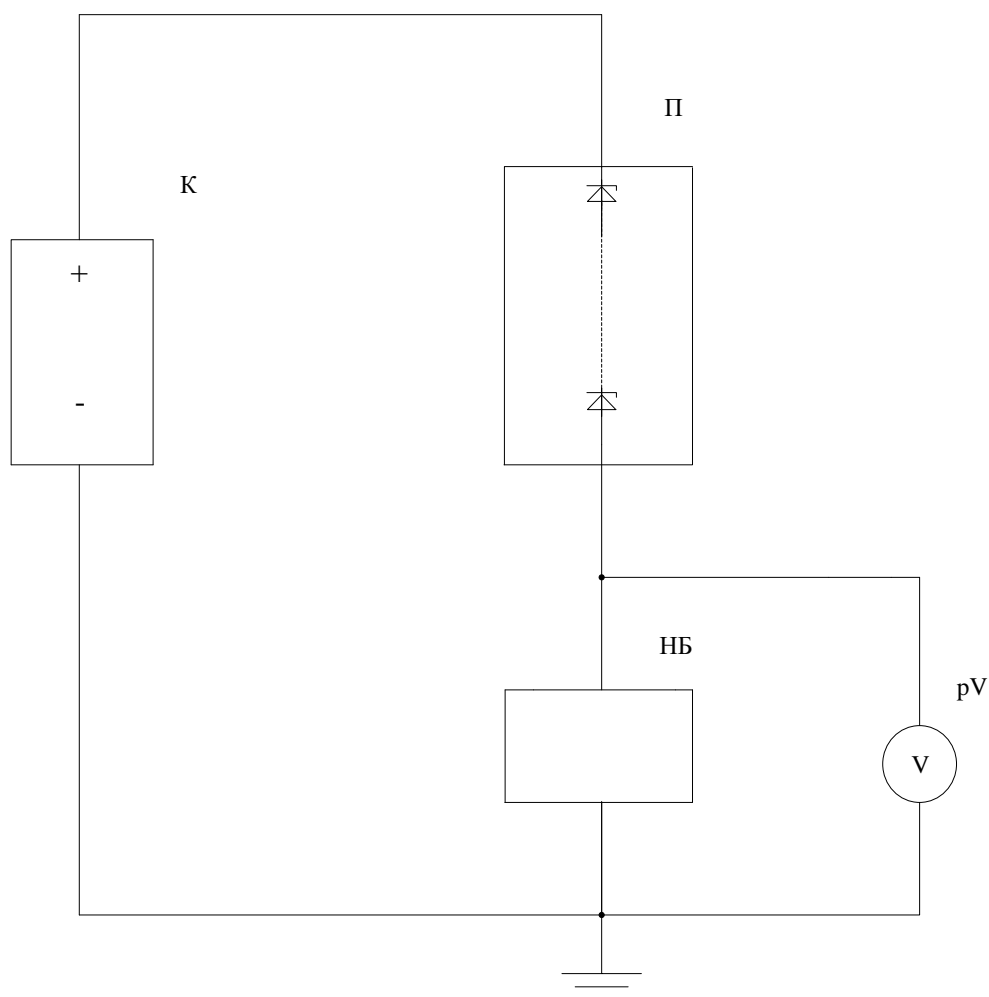


Рис.1.1 - Структурна схема визначення дійсних значень напруги ділянок по 1 кВ еталона напруги постійного струму.

К – калібратор напруги постійного струму ВІ-13;

П – ділянка плати МВН номінальної напруги 1 кВ;

НБ – низьковольтний блок НБ-100;

pV – вольтметр В7-34А.

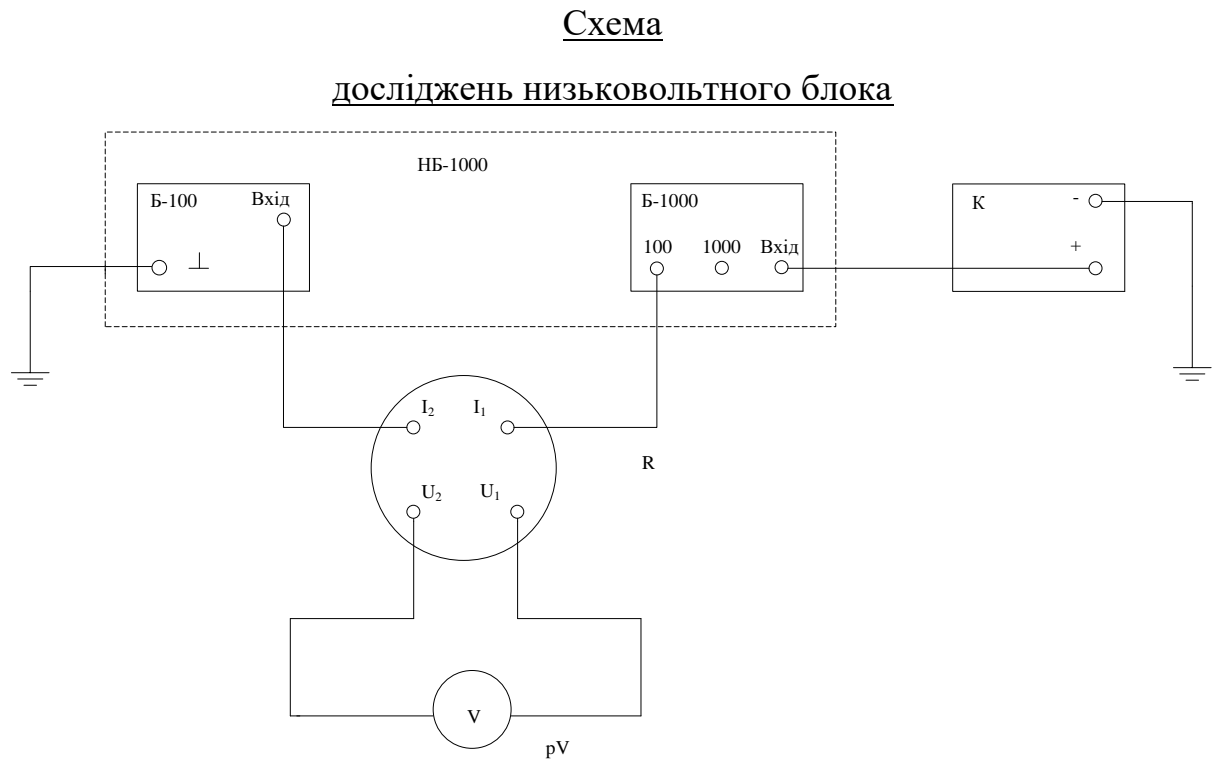


Рис. 1.2. – Схема досліджень низьковольтного блока.

НБ-1000 – стабілізатор струму з діапазоном вхідних напруг від 100 до 1000 В;

Б-100 – стабілізатор струму з діапазоном вхідних напруг від 0 до 100 В;

Б-1000 – розширювач границь вимірювання з діапазоном вхідних напруг від 100 до 1000 В;

R – котушка електричного опору зразкова РЗЗ1;

pV – вольтметр цифровий В7-34А;

K – калібратор напруги постійного струму В1-13.

Якщо дійсне значення струму виходить за межі $(5,000 \pm 0,005)$ мА, необхідно виконати настройку низьковольтного блока до значення струму, рівного $(5,000 \pm 0,001)$ мА. Регулювання величини струму проводиться при напрузі на вході НБ-100, рівному 50 В, а на вході НБ-1000 – який дорівнює 500 В. Значення струму встановлюється за допомогою регульовального резистора викруткою через отвір у верхній кришці корпусу блока[1].

4. Підготувати до роботи ЗВТ, що повіряється, джерело високої напруги і допоміжні прилади у відповідності з їх інструкціями з експлуатації.

5. Зібрати схему повірки ЗВТ (вимірювача високої напруги), наведену на (рис.1.3).

6. Встановити на МВН, НБ, вимірювачі високої напруги, який повіряється, і на вольтметрах pV , pV_x потрібні границі вимірювання.

Границі вимірювання для передавання розмірів одиниць високої напруги відповідають номінальним значенням високої напруги складених мір еталона і наведені в таблиці 1.5 цього ТО.

Якщо потрібна межа вимірювання високої напруги не перевищує 10 кВ, то необхідно користуватись Б-100 і на вольтметрі pV слід встановити верхню границю вимірювання 100 В.

Якщо потрібна межа вимірювання перевищує 10 кВ, то необхідно користуватись Б-1000 і на вольтметрі pV слід встановити верхню границю вимірювання 1000 В.

На вольтметрі pV_x необхідно встановити ті границі вимірювання, які вказані у інструкції з експлуатації вимірювача високої напруги, що повіряється.

7. Включити джерело високої напруги (ДВН).

8. Підняти напругу на виході ДВН до значення, приблизно яке дорівнює номінальному значенню високої напруги вибраної міри високої напруги. Повільно збільшувати напругу до появи показань на вольтметрі pV . При використанні тільки НБ-100 відлік проводиться при показаннях на pV , що дорівнюють (50 ± 30) В. При використанні НБ-1000 відлік проводиться при показаннях на pV , що дорівнюють (500 ± 300) В.

9. Провести одночасно відлік показань вольтметрів pV і pV_x , результати відліку показань вольтметра занести до протоколу.

10. Знизити напругу на виході ДВН до нуля і відключити ДВН.

11. Дійсне значення U_x , що подається на вхід вимірювача високої напруги, який повіряється, обчислюється за формулою (1.3):

$$U_x = U_M + U_{pV} \quad (1.3)$$

де: U_M – дійсне значення високої напруги використовуваної міри МВН, (В);
 U_{pV} – показання вольтметра еталона, (В).

Структурна схема передавання розміру одиниці електричної напруги постійного струму від державного еталона робочим еталонам

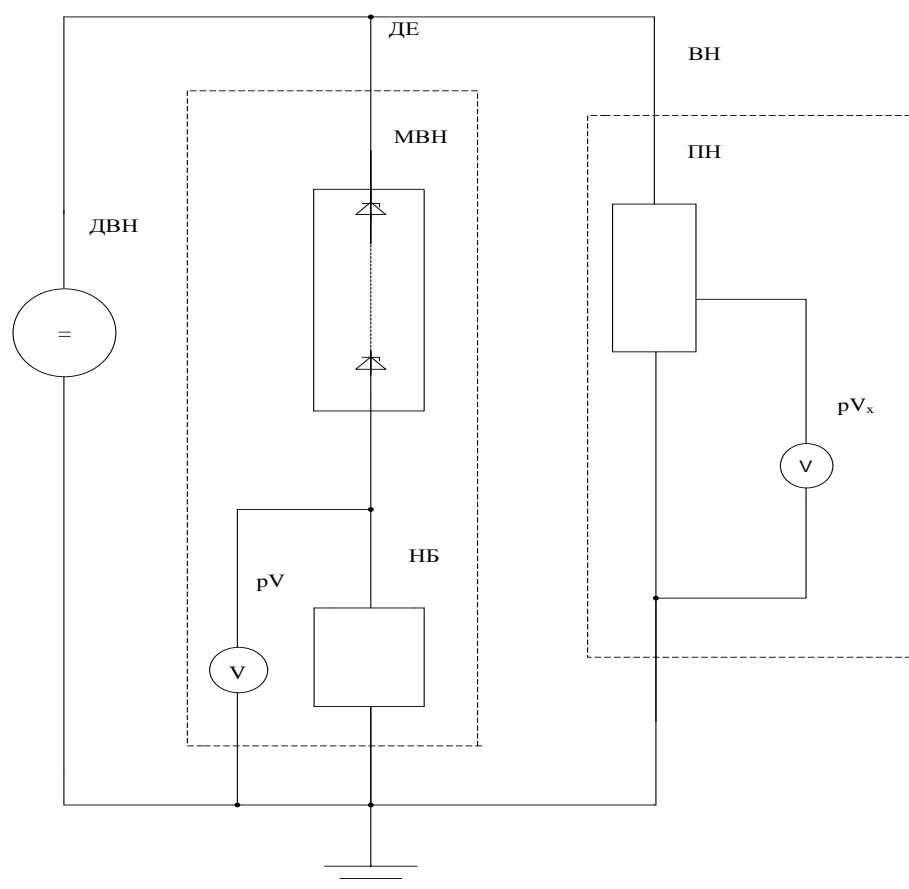


Рис. 1.3. - Структурна схема передавання розміру одиниці електричної напруги постійного струму від державного еталона робочим еталонам[1].

ДВН – джерело високої напруги постійного струму;

Е – еталон;

МВН – міра високої напруги;

НБ – низьковольтний блок;

pV – вольтметр Е;

ВН – вимірювач напруги, що повіряється (робочий еталон 1-го розряду);

ПН – подільник напруги;

pV_x – вольтметр вимірювача напруги.

1.6. Метрологічна атестація

Метрологічна атестація еталона високої напруги постійного струму проводиться не рідше 1 разу в 2 роки за документом ПМА 081/29.19-98 «Державний еталон одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 180 кВ. Програма та методика метрологічної атестації».

1.7. Технічне обслуговування

Для забезпечення надійної роботи складених мір МВН-180, МВН-10 і еталона у цілому протягом тривалого періоду експлуатації необхідно своєчасно проводити роботи по технічному обслуговуванню.

Незалежно від тривалості експлуатації, роботи по технічному обслуговуванню належить виконувати в такі строки:

- технічне обслуговування №1 – один раз у квартал;
- технічне обслуговування №2 – один раз у рік.

При технічному обслуговуванні №1 перевіряється:

- комплектність еталона;
- справність з'єднувальних кабелів і проводів;
- цілісність паянь з'єднувальних проводів між платами мір високої напруги;
- наявність і цілісність маркування плат і ділянок мір високої напруги;
- відсутність механічних і електричних пошкоджених деталей та частин еталона;
- відсутність корозії та пошкоджень лакофарбових покриттів на металевих деталях еталона.

Виявленні несправності і дефекти необхідно занести до журналу застосування еталона і провести роботи по їх усуненню.

При технічному обслуговуванні №2 необхідно виконати роботи, що вказані в технічному обслуговуванні №1, і додатково:

- очистити від пилу високовольтні конструкції, а також плати і стабілітрони шляхом продування сухим повітрям;
- протерти плати, місця паяння, стабілітрони і ізоляційні конструкції чистою шовковою серветкою, змоченою в етиловому спирті.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ:

Розглянутий еталон призначений для відтворення та зберігання одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 180 кВ і передавання розміру одиниці за допомогою робочих еталонів робочим засобам вимірювальної техніки (ЗВТ) з метою забезпечення єдності вимірювань в країні.

Даний еталон відіграє важливу роль у розвитку приладів призначених для вимірювання високих напруг. В основі еталона лежить метод масштабного перетворення вихідної напруги від 1 кВ до 180 кВ.

2. ДЖЕРЕЛО ВИСОКОЇ НАПРУГИ ЕТАЛОНУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ 1 – 180 кВ

При вивченні установки і проведення робіт з її підготовки до експлуатації слід додатково керуватися наступними документами:

- перетворювач АДГФ. Технічний опис та інструкція з експлуатації ОАГ.402.295ТО;
- трансформатор ТН-220/220000-7. Технічний опис та інструкція з експлуатації АХ44338ТО;
- випрямно-фільтруючий пристрій ВФУ-180.

Технічний опис та інструкція по експлуатації в ТО прийняті наступні позначення:

- ВФП – випрямно-фільтруючий пристрій ВФУ-180;
- ДНО – зразковий дільник напруги постійного струму ДНО-30-180/0,І;
- PV – вольтметр В7-34А;
- СЕЗ – система енергетичного забезпечення;
- ОРН – однофазний регулятор напруги типу АОМН;
- СТ – підвищуючий силовий трансформатор живлення ТМ220/220000-7;
- ЗВ – засіб вимірювання;
- ВН – висока напруга;
- КД – коефіцієнт ділення;
- НСП – невиключена систематична похибка установки;
- СКВ – середньоквадратичне відхилення результату вимірювання;

2.1. Призначення

Установка призначена для зберігання і передачі розмірів коефіцієнта ділення високих напруг і одиниці напруги зразковим і робочим засобам вимірювань.

Область застосування установки – це вимірювання і дослідження метрологічних характеристик обладнання, на якому проводяться випробування

високовольтної ізоляції, апаратури та конструкцій. Установка призначена для роботи в умовах стаціонарних лабораторій обладнання внутрішньої установки.

Нормальні умови експлуатації:

- температура навколишнього повітря (20 ± 5) $^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря (65 ± 15) %;
- атмосферний тиск (101 ± 4) кПа;
- напруги мережі живлення (220 ± 22) В;
- частота напруги живлення ($50 \pm 0,5$) Гц;
- коефіцієнт несинусоїдальності напруги не більше 5%.

2.2. Технічні дані

Основні технічні та метрологічні характеристики наведені в табл.2.1:

Таблиця.2.1. – Основні технічні та метрологічні характеристики

Назва характеристик	Нормоване значення
Діапазон вхідних значень ВН, (кВ)	6 – 180
Діапазон номінальних значень КД, ВН	300 – 1800
НСП, не більше	$3 \cdot 10^{-3}$
СКВ, не більше	$6 \cdot 10^{-4}$
Діапазон вихідних напруг ДНО, (В)	$20 \div 100$
Споживаюча потужність, (кВА) не більше	10
Номінальний струм навантаження ВФУ, (мА)	10
Коефіцієнт пульсації змінної складової ВН, (%) не більше	0,5
Стабільність напруги живлення на виході СЕЗ, (%) не більше	0,2

2.3. Склад

Установка складається з ряду пристроїв та приладів, перелік яких наведено в табл.2.2.

Таблиця 2.2. – Склад ряду пристроїв та приладів установки.

№	Назва	Кількість, шт.	Примітка
1	Перетворювач АДГФ-12	1	Трифазне автономне стабілізоване джерело живлення
2	Амперметр Д553	3	Контроль симетричного навантаження
3	Фазометр Д5000	3	---
4	Автотрансформатор типу АОМН-40-220-75УХЛ4	4	Регулювання напруги
5	Котушка індуктивності	2	Компенсація ємнісної складової споживаної потужності
6	Блок активних навантажень, тип 1,0/220/С/	2	Симетрування навантажень АДГФ
7	Понижуючий трансформатор, УТН-1	2	Дискретне регулювання вихідної напруги
8	Трансформатор ТМ-220/220000-7	2	Підвищувальний трансформатор живлення
9	Випрямно-фільтруючий пристрій ВФУ-180	1	Перетворення змінного ВН у постійне
10	Дільник напруги постійного струму зразковий ДНО-30-180/0,1	1	Зразковий дільник
11	Вольтметр В7-34А	1	Зразковий вольтметр
12	Вольтметр В7-16А	1	Допоміжний вольтметр
13	Вольтметр Ф584	1	---
14	Осцилограф СІ-65	1	Визначення пульсації
15	Мультиметр 43104	1	Вимір струму навантаження установки
16	Трансформатор струму І515М	3	Струм навантаження перетворювача

2.4. Пристрій і робота установки та її складових частин

2.4.1. Принцип дії

Напруга трифазної мережі (380 кВ), характеризується недостатньою стабільністю по амплітуді, трансформується перетворювачем АДГФ-12 в систему трифазних стабілізованих напруг (220 В). Після цього змінна напруга підвищується трансформатором СТ і подається на вхід ВФП. Випрямлена і згладжена напруга постійного струму з виходу ВФП подається на вхід ДНО і дільника що повіряється, або кіловольтметра. Так як вся схема підключена тільки до однієї лінійної напруги виходу АДГФ-1, то до двох інших лінійних напруг підключається схема симетрування навантажень АДГФ-12. В цю схему входять два ОРН і два блока навантажень. СТ і ВФП представляють собою явно виражене ємнісне навантаження[10]. Для компенсації цієї складової потужності що споживається використовуються котушки індуктивності, потік потужності через які регулюється як дискретно, так і плавно за допомогою ОРН.

Степінь компенсації ємнісної складової споживаної потужності і симетрії навантаження АДГФ-12 контролюється за показниками трьох амперметрів і трьох фазометрів. Атестація та повірка дільників напруги постійного струму, кіловольтметрів і аналогічних приладів і пристроїв виробляється за їх робочому значенні ВН. При повірці робочих засобів можливе здійснення живлення установки безпосередньо від мережі.

2.4.2. Конструкція

Конструктивно установка являє собою з'єднані до купи різні пристрої та прилади.

Машинний агрегат АДГФ-12 складається з двигуна постійного струму ДП-24, двох трифазних генераторів змінного струму нормальної частоти ГФ-І2 і тахогенератора. Двигун постійного струму і тахогенератор змонтовані на одному валу, а корпус тахогенератора прикріплений до щиту підшипника двигуна. Трифазні генератори, що входять в ПФ-12 змонтовані на загальному валу і в одному корпусі. Двигун ДП-24 і генератор ГФ-12 встановлюються на

загальній рамі. Вали двигуна і генераторів з'єднані пружною втулочно-кільцевою муфтою. Конструктивне виконання агрегату – горизонтальне, захисне, з само вентиляцією. Напрямок обертання агрегату за годинниковою стрілкою, якщо дивитись з боку двигуна.

Принципово трансформатор ТМ-220/220000-7 складається з двухстрижневого магнітопровода, обмоток високої напруги, обмоток низької напруги і узгоджуючої обмотки. Обмотка високої напруги і узгоджуюча електрично пов'язані з магнітопроводом. Конструктивно трансформатор складається з двухстрижневого шихтованого магнітопровода, виконаного із електричної сталі марки М6Х товщиною 0,35 мм. На магнітопроводі розташовані обмотки – верхня та нижня. Магнітопровід з обмотками кріпиться до цоколя за допомогою стійок, виконаних з деревинно-смолистого пластику. Збирання обмоток поміщається в бакелітовий циліндр, який кріпиться до цоколя, створюючи замкнутий об'єм, який заповнюється трансформаторним маслом. Бакелітовий циліндр одночасно являється головною зовнішньою ізоляцією трансформатора[11]. Зверху бакелітовий циліндр закривається кришкою. Масляне заповнення трансформатора служить для ізоляції обмоток від заземлених частин і оберігання обмоток від зволоження.

ВФП являє собою два однополуперіодних випрямляча, зібраних за схемою подвоєння напруги і резистивно-ємнісного фільтру. Конструктивно ВФП являє собою вертикальну високовольтну конструкцію обладнання, змонтованого на візку з колесами. Конденсатори ВН і високовольтні випрямні стовпи ізолювані від корпусу візка з метою забезпечення можливості контролю струму навантаження за допомогою міліамперметра і забезпечення захисту випрямних стовпів і конденсаторів від перевантаження в аварійних режимах.

Дільник напруги ДНО-30-180/0,1 складається із набору резисторів та елементів високовольтних конструкцій, об'єднаних в один блок і з'єднувального кабелю для підключення вольтметра. Конструктивно він являє собою циліндричну конструкцію високовольтного пристрою, що має циліндричні екрани і підставку. Конструкція дільника складається із трьох

основних частин (верхній ВВ блок резисторів, нижній ВВ блок резисторів, цоколь) і п'яти екранів.

Високовольтні блоки резисторів складаються із набору резисторів С2-29-В-2, розташованих на платах, що поміщені в фарфорову покришку і залиті трансформаторним маслом[12]. В нижньому блоці розміщені додаткові резистори низьковольтного плеча дільника. Цоколь має кришку, яка закриває доступ до підстроювальним резисторам. Конструкція установки дозволяє виконання регламентних дослідних робіт з подачею робочої напруги на її окремі вузли та елементи.

2.5. Загальні вказівки щодо експлуатації

Перш ніж почати роботу з установкою, необхідно ознайомитись з технічними описами та інструкціями з експлуатації, а також з електричними принциповими схемами всіх приладів і пристроїв, що входять в її склад.

Установка являється захищеною стаціонарного виконання. При експлуатації необхідно приділяти особливу увагу приєднанню до елементів установки і повіренню СВ проводу заземлення.

При роботі з установкою необхідно регулярно протирайте клеми вхідних роз'ємів ганчіркою, змоченою спиртом. Використання бензину для протирання клем не допускається.

Через кожні 6 місяців експлуатації і після зберігання понад 12 місяців необхідно проводити протирання всіх контактних з'єднань ганчіркою, змоченої в спирті.

При проведенні перевірки СВ необхідно використовувати з'єднувальні кабелі, які входять в його комплект.

2.6. Вказівки заходів безпеки

Установка повинна експлуатуватися в спеціальному приміщенні, котре виконане відповідно до ПТЕ і ПТБ. Приміщення повинно мати контур

заземлення з перехідним опором не більше 4 (Ом). У приміщенні повинен бути комплект захисних засобів.

Обслуговування установки здійснюється бригадою з 2-х операторів, один з яких повинен мати групу по ТБ не нижче IV[13]. Типові і масові дослідження, атестація та повірка можуть виконуватися однією особою, що має групу по електробезпеці не нижче IV.

Ланцюг включення ВН повинен проходити через контакти дверного блокування, світлову сигналізацію ВВ kabіни і нормально замкнутих контактів струмових реле ВФП.

Обслуговуючий персонал повинен пам'ятати: *навіть при вимкненому джерелі живлення на установці може бути залишкова напруга, яка небезпечна для життя! ! !*

Виробництво будь-яких робіт, при яких можливий дотик до струмоведучих частин відключеної конденсаторної установки або окремого конденсатора до виконання загальних вимог техніки безпеки і контрольного розряду конденсаторів, забороняється.

Контрольний розряд конденсаторів проводиться розрядним металевим електричним стрижнем, з'єднаним з контуром заземленням, надійно укріпленої на ізоляційній штанзі. Розмір цієї штанги повинен бути таким же, як розмір ізоляційної штанги для оперативних переключень в установках того ж класу напруги, що і у конденсаторів.

З'єднання та від'єднання необхідно робити тільки при заземлених виводах ВВ конденсаторів. Заземлення має проводитись спеціальними заземлюючими штангами.

Болти заземлення, які розташовані на елементах установки, повинні бути надійно з'єднані з заземлюючим контуром. Якість заземлюючого контуру і якість з'єднань має перевірятися після кожного переміщення елементів установки, а також періодично у відповідності з ПТЕ і ПТБ.

При експлуатації перетворювача АДГФ-12 необхідно виконати всі вимоги по техніці безпеки, обумовлені діючими правилами техніки безпеки,

стежити за надійністю заземлення корпусів машинного агрегату та окремих апаратів. Категорично забороняється проводити внутрішній огляд і регулювання перетворювача під напругою. При експлуатації перетворювача необхідно пам'ятати, що після натискання на кнопку "Стоп" в блоках і на окремих струмоведучих частинах машинного агрегату залишається напруга до того часу, поки не буде відключений автомат.

До подачі ВН оператору необхідно перевірити:

- надійність заземлення корпусів використовуваного обладнання у схемі;
- справність роботи дверного блокування та сигналізації;
- правильність збирання схеми;
- правильність підключення та вибір межі вимірювання що входять в схему;

Подача ВН на установку при від'єднанні її від корпусу заземлення, НЕ ДОПУСКАЄТЬСЯ!!!

2.7. Розміщення та монтаж

Перетворювач АДГФ-12, тобто машинний агрегат АДГФ-12, блок керування та блок регулювання розміщені і змонтовані в спеціальному приміщенні, в якому є захисні огороження і необхідні комутаційні пристрої. Силовим кабелем система трифазних стабілізованих напруг подається до іншого спеціального приміщення - ВВ зал.

Два трансформатора ТМ-220/220000-7, включені паралельно, стаціонарно, встановлені у ВВ залі так, що вони можуть використовуватися як при експлуатації установки так і при інших роботах, пов'язаних з отриманням ВН змінного струму.

ВФУ і ДНО-30-180/0,1 розташовані в ВВ залі, можуть бути переміщені в любую точку випробувального поля в залежності від режиму роботи, або зберігання установки.

Зразковий вольтметр В7-34А та інші прилади і обладнання розташовані в ВВ залі, за огорожею випробувального поля, і змонтовані на робочому місці оператора.

2.8. Підготовка до роботи

Після того, як перетворювач АДГФ-12 тривалий час не був у експлуатації, необхідно перевірити опір ізоляції електромашинного агрегату і блоків апаратів відносно корпусу. Якщо опір ізоляції буде менше 0,5 (МОм), то машинний агрегат та апаратуру необхідно сушити. Категорично забороняється виймати окремо блоки при ввімкненому автоматі, так як в цьому випадку внаслідок розриву ланцюгів обмоток збудження, що знаходяться під струмом, можливе обгорання контактів, штепсельних роз'ємів і пробою ізоляції обмоток збудження.

Шляхом ретельного зовнішнього огляду трансформаторів ТМ-220/220000-7 необхідно переконатися у відсутності витікання масла між цоколем і циліндром, а також у місцях кріплення. При наявності витікання масла через ущільнення необхідно підтягнути відповідні гайки. Гайки слід підтягувати поступово одну за другою, не більше ніж на 0,5 обороту за один прийом. Підтягування тільки однієї гайки недопустимо, тому що нерівномірне затягування може призвести до деформації бакелітового циліндра.

Протерти всі частини ВФП, особливо бакелітові ізолятори, від пилу сухою серветкою. При виявленні конденсату на поверхні ізоляційних деталей його слід видалити шовковою серветкою, змоченою в спирті. Після такої обробки піднімати напругу дозволяється тільки через 30 хвилин. Напруга підвищувати плавно або ступенями. Це необхідно для досягнення нормальної зовнішньої міцності ізоляції.

Протерти всі частини дільника ОДН-30-180/0,1 від пилу (особливо фарфорові покритишки) сухою серветкою. За наявності конденсату на поверхні ізоляційних деталей видалення його слід виконувати чистою, змоченою в спирті серветкою з шовку. Після закінчення 30 хвилин дозволяється підвищити

напругу повільно або ступенями до досягнення робочої напруги. Це необхідно для досягнення нормальної зовнішньої електричної міцності ізоляції.

Підключити вимірювальний кабель до роз'єму ОДН (Вих) і входу вольтметра, заздалегідь підготувавши вольтметр до роботи згідно інструкції по його експлуатації. Заземлити вольтметр за допомогою клеми захисного заземлення.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ:

Джерело високої напруги еталону постійного струму 1 – 180 кВ призначене для зберігання і передачі розмірів коефіцієнта ділення високих напруг і одиниці напруги зразковим і робочим засобам вимірювань.

Область застосування – це вимірювання і дослідження метрологічних характеристик обладнання, на якому проводяться випробування високовольтної ізоляції, апаратури та конструкцій. Установка призначена для роботи в умовах стаціонарних лабораторій обладнання внутрішньої установки.

3. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ ЕТАЛОННОЇ УСТАНОВКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПК

3.1. Опис роботи програми MathCad

MathCAD – це могутнє й у той же час просте універсальне середовище для розв’язання задач у різних галузях науки і техніки, фінансів і економіки, фізики й астрономії, математики і статистики. MathCAD залишається єдиною системою, у якій опис розв’язання математичних задач задається за допомогою звичайних математичних формул і знаків. MathCAD дозволяє виконувати як чисельні, так і аналітичні (символьні) обчислення, має надзвичайно зручний математико-орієнтований інтерфейс і прекрасні засоби наукової графіки.

Система MathCAD існує в декількох основних варіантах:

- MathCAD Standard – ідеальна система для повсякденних технічних обчислень. Призначена для масової аудиторії і широкого використання в навчальному процесі;
- MathCAD Professional – промисловий стандарт прикладного використання математики в технічних додатках. Орієнтована на математиків і науковців, що проводять складні і трудомісткі розрахунки.
- MathCAD Professional Academic – пакет програм для професійного використання математичного апарата з електронними підручниками і ресурсами.

До основних елементів математичних виразів MathCAD відносяться *типи даних, оператори, функції і керуючі структури*.

Оператори – елементи MathCAD, за допомогою яких можна створювати математичні вирази. До них, наприклад, відносяться символи арифметичних операцій, знаки обчислення сум, добутків, похідної, інтегралу і т.д.

Оператор визначає:

1. дію, що повинна виконуватися при наявності тих чи інших значень операндів;
2. скільки, де і які операнди повинні бути введені в оператор.

3.2. Аналітичний метод дослідження високовольтних установок постійного струму

Функціональна схема електроживлення установки високої напруги постійного струму у загальному випадку представлена на рис. 3.2. З виходу високовольтного підвищувального трансформатора (ТР) напруга $u_1(t) = U_m \sin \omega t$ через розділовий конденсатор C_1 поступає на вхід каскада подвоєння напруги $VD_1; VD_2; C_2$, і далі через фільтр $R_\phi; C_3$ – на ланку стабілітронів $ST_1 \dots ST_n$ з вихідним резистором r , паралельно якій включений омичний подільник напруги, навантаження якого можна замінити омичним опором R_{III} . Уведення стабілітронів в схему установки рис. 3.2 пояснюється необхідністю зменшення пульсацій та, з другого боку, підвищення точності вимірювань високої напруги. Додатково до схеми установки [7] у схему рис.3.2 уведені навантаження R_2, R_3 .

Вольт-амперна характеристика (як приклад, стабілітрона Д818Д) наведена на рис. 3.1. Її лінеаризований вираз запишемо в виді $u_{st}(i) = u_0 + r_d(i - I_0)$, де r_d – диференціальний опір стабілітрона.

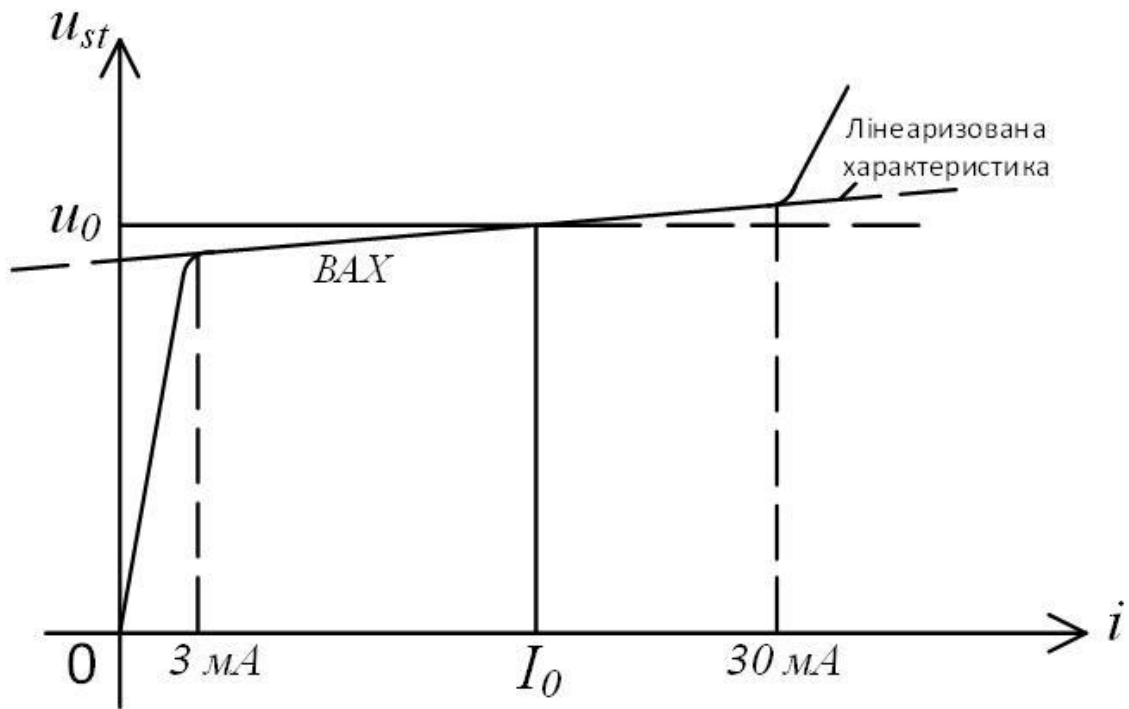


Рис. 3.1. – Вольт-амперна характеристика стабілітрона Д818Д[14].

Тоді для напруги навантаження, рис.3.2, можна записати:
 $u_H = (U_0 + I_0 \cdot r) + (i - I_0) \cdot (R_0 + r)$, де U_0 – еквівалентна робоча напруга та R_0 – еквівалентний диференціальний опір ланки стабілітронів. Звідси

$$i = \frac{u_H - U_0 - I_0 \cdot r}{R_0 + r} + I_0. \quad (3.1)$$

Тоді струм подільника напруги: $i_{\text{ПН}} = \frac{u_H}{R_{\text{ПН}}}$.

У складових струму конденсатора C_3 враховуємо ємнісну складову та струм, обумовлений активним опором R_3 :

$$i_{C_3} = C_3 \cdot \frac{du_H}{dt} + \frac{u_H}{R_3}. \quad (3.2)$$

Визначаємо струм $i_\phi = i_{C_3} + i + i_{\text{ПН}}$ та представимо $u_H = U_0 + I_0 \cdot r + \Delta u(t)$, де $\Delta u(t)$ – пульсація напруги навантаження у часі,

причому $\int_0^T \Delta u(t) \cdot dt = 0$, де T – період напруги $u_1 = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$. Тоді

запишемо:

$$i_\phi = \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{\Pi H}} \right) \cdot (U_0 + I_0 \cdot r + \Delta u(t)) + C_3 \cdot \frac{d\Delta u(t)}{dt} + \frac{\Delta u(t)}{R_\phi + r} + I_0. \quad (3.3)$$

Знайдемо падіння напруги на R_ϕ як $u_\phi = R_\phi \cdot i_\phi$ і далі представимо

$$u_{C_2} = u_\phi + u_H:$$

$$\begin{aligned} u_{C_2} = & (U_0 + I_0 \cdot r + \Delta u(t)) \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_{\Pi H}} \right) + \\ & + C_3 \cdot R_\phi \cdot \frac{d\Delta u(t)}{dt} + \Delta u(t) \cdot \frac{R_\phi}{R_\phi + r} + I_0 \cdot R_\phi. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Далі знаходимо струм $i_{C_2} = C_2 \cdot \frac{du_{C_2}}{dt} + \frac{u_{C_2}}{R_2}$, звідки маємо:

$$\begin{aligned} i_{C_2} = & (U_0 + I_0 \cdot r + \Delta u(t)) \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_3} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_{\Pi H}} \right) + \\ & + C_3 \cdot \frac{R_\phi}{R_2} \cdot \frac{d\Delta u(t)}{dt} + \Delta u(t) \cdot \frac{R_\phi}{R_2 \cdot (R_\phi + r)} + \\ & + I_0 \cdot \frac{R_\phi}{R_2} + C_2 \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_{\Pi H}} + \frac{R_\phi}{R_\phi + r} \right) \cdot \frac{d\Delta u(t)}{dt} + \\ & + C_2 \cdot C_3 \cdot R_\phi \cdot \frac{d^2 \Delta u(t)}{dt^2}. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Поєднуючи $i_\phi + i_{C_2} = i_{\text{вх}}$, одержимо вхідний струм $i_{\text{вх}}$ в правій частині схеми рис. 3.2:

$$\begin{aligned} i_{\text{вх}} = & (U_0 + I_0 \cdot r + \Delta u(t)) \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_3} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_{\Pi H}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{\Pi H}} \right) + \\ & + \frac{d\Delta u(t)}{dt} \cdot \left(C_3 + C_3 \cdot \frac{R_\phi}{R_2} + C_2 \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_{\Pi H}} + \frac{R_\phi}{R_\phi + r} \right) \right) + C_2 \cdot C_3 \cdot R_\phi \cdot \frac{d^2 \Delta u(t)}{dt^2} + \\ & + \frac{\Delta u(t)}{R_\phi + r} \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2} \right) + I_0 \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2} \right). \end{aligned} \quad (3.6)$$

В режимі закритого вентиля VDI $i_{ex}=0$, і в правій частині схеми відбувається перерозподіл напруги, який можна описати рівнянням:

$$\frac{d^2 \Delta u(t)}{dt^2} + a_1 \frac{d \Delta u(t)}{dt} + a_2 \Delta u(t) = \frac{(U_0 + I_0 r) \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{R_\phi}{R_2 R_3} + \frac{R_\phi}{R_2 R_{\Pi\Pi}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{\Pi\Pi}} \right) + I_0 \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2} \right)}{C_2 C_3 R_\phi}, \quad (3.7)$$

$$\text{де: } a_1 = \frac{C_3 \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2} \right) + C_2 \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_{\Pi\Pi}} + \frac{R_\phi}{R_\phi + r} \right)}{C_2 C_3 R_\phi},$$

$$a_2 = \frac{\frac{1}{R_2} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_3} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_{\Pi\Pi}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{\Pi\Pi}} + \frac{1}{R_\phi + r} \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2} \right)}{C_2 \cdot C_3 \cdot R_\phi}.$$

Дослідження коренів характеристичного рівняння $p^2 + a_1 \cdot p + a_2 = 0$ показує, що його дискримінант $D > 0$. Отже, рішення для $\Delta u(t)$ знаходимо у вигляді:

$$\Delta u_{\Pi\Pi}(t) = A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} + \Delta u_{\text{устале} \Pi\Pi}, \quad (3.8)$$

де $p_1; p_2$ – корені характеристичного рівняння.

Для знаходження констант $A_1; A_2$ використовуємо умову незмінності напруги $u_{C2}; u_{C3}$ в момент початку перерозподілу напруги (позначимо момент часу t_2)[14].

В режимі відкритого вентиля VDI (в проміжку часу $t_1 \leq t \leq t_2$) маємо

$$i_{ex} = i_1(t) \text{ та } u_{C2} = U_m \cdot \sin(\omega t) + U_m - \frac{1}{C_1} \cdot \int_{t_1}^t i_1(t) \cdot dt. \quad (3.9)$$

$$\text{Звідси знаходимо диференціюванням: } \frac{du_{C2}}{dt} = \omega \cdot U_m \cdot \cos(\omega t) - \frac{1}{C_1} \cdot i_1(t),$$

а отже

$$i_1(t) = C_1 \cdot \omega \cdot U_m \cdot \cos(\omega t) - C_1 \cdot \frac{du_{C2}}{dt} \quad (3.10)$$

Із попереднього виразу u_{C_2} знаходимо:

$$\frac{du_{C_2}}{dt} = \frac{d\Delta u(t)}{dt} \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_{\Pi\Pi}} + \frac{R_\phi}{R_\phi + r}\right) + C_3 \cdot R_\phi \cdot \frac{d^2\Delta u(t)}{dt^2}$$

та за допомогою цієї підстановки одержуємо рівняння для $\Delta u(t)$ в період зарядження ($t_1 \leq t \leq t_2$) у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\Delta u(t)}{dt^2} + b_1 \cdot \frac{d\Delta u(t)}{dt} + b_2 \cdot \Delta u(t) = \\ = \frac{C_1 \cdot \omega \cdot U_m \cdot \cos(\omega t)}{R_\phi \cdot C_3 \cdot (C_1 + C_2)} - \frac{(U_0 + I_0 \cdot r) \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_3} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_{\Pi\Pi}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{\Pi\Pi}}\right) + I_0 \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2}\right)}{R_\phi \cdot C_3 \cdot (C_1 + C_2)}, \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\text{де: } b_1 = \frac{C_3 \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2}\right) + (C_1 + C_2) \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_{\Pi\Pi}} + \frac{R_\phi}{R_\phi + r}\right)}{R_\phi \cdot C_3 \cdot (C_1 + C_2)},$$

$$b_2 = \frac{\frac{1}{R_2} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_3} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_{\Pi\Pi}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{\Pi\Pi}} + \frac{1}{R_\phi + r} \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2}\right)}{R_\phi \cdot C_3 \cdot (C_1 + C_2)}.$$

Дискримінант характеристичного рівняння в цьому випадку теж більше нуля, і отже, рішення знаходимо у вигляді:

$$\Delta u(t)_{\text{зарядження}} = A_3 \cdot \sin(\omega t + \psi) + A_4 \cdot e^{p_3 \cdot t} + A_5 \cdot e^{p_4 \cdot t} + \Delta u_{\text{усталенеЗР}}, \quad (3.12)$$

де A_3 , ψ та $\Delta u_{\text{усталенеЗР}}$ знаходимо через відомі коефіцієнти рівняння; p_3 , p_4 – корені відповідного характеристичного рівняння, а коефіцієнти A_4 та A_5 визначаємо з незмінності u_{C_2} ; u_{C_3} в момент часу t_1 . Порівнюючи (3.8), (3.12) знаходимо:

$$\begin{aligned} \Delta u_{\text{усталенеПН}} = \Delta u_{\text{усталенеЗР}} = \Delta u_{\text{усталене}} = \\ = - \frac{(U_0 + I_0 \cdot r) \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_3} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_{\Pi\Pi}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{\Pi\Pi}}\right) + I_0 \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2}\right)}{\frac{1}{R_2} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_3} + \frac{R_\phi}{R_2 \cdot R_{\Pi\Pi}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{\Pi\Pi}} + \frac{1}{R_\phi + r} \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2}\right)}. \end{aligned} \quad (3.13)$$

3.3. Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму

Наведена на рис. 3.2 функціональна схема живлення еталонної установки високої напруги постійного струму має параметри, що відповідають установці ДЕТУ 08-04-99 в режимах номінальних напруг $\bar{U}_{нав}$ від 1 до 180 кВ [8].

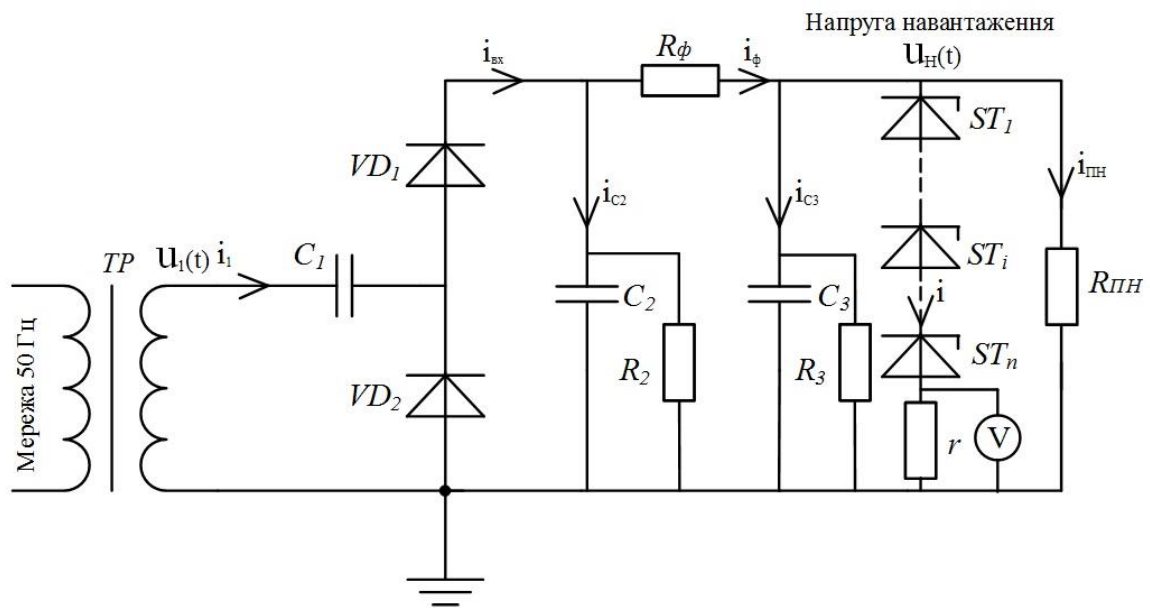


Рис. 3.2. – Функціональна схема живлення установки високої напруги постійного струму.

На рис. 3.2 позначені:

C_1 – зарядний конденсатор (0,1 мкФ);

C_2, C_3 – фільтрові конденсатори (0,072 мкФ);

R_ϕ – опір фільтра (1,78 МОм);

VD_1, VD_2 – високовольтні діоди;

$ST_1...ST_i...ST_n$ – стабілітрони типу Д818Д;

$R_{ПН}$ – опір омичного подільника напруги.

Стабілітрони Д818Д визначають вибір стабілізованого струму установки $I_0 = 5$ мА для 27 значень входних номінальних напруг на навантаженні $\bar{U}_{нав}$, згідно таблиці 1. Подільник напруги ПН має чотири значення входних номінальних напруг $U_{вх.ном.ПН}$: 180 кВ; 90 кВ; 60 кВ; 30 кВ,

для яких струм подільника напруги розраховується рівним $I_{\Pi H} = 2,5$ мА. Для інших 23 вхідних напруг подільника напруги $\bar{U}_{нав}$ його струм зменшується пропорційно вхідній напрузі[14-16].

Використовуючи незмінність u_{C_2} та u_{C_3} в моменти t_1 ; t_2 , а також визначення моменту t_1 з умови $U_m(1 + \sin(\omega \cdot t_1)) = u_{C_2}(t_1)$, а моменту t_2 – з виразу (10) при $i_1(t) = 0$ та вираз $\int_0^T \Delta u(t) \cdot dt = 0$, одержимо для загального

випадку параметрів схеми рис. 3.2. рішення для величин U_m , t_1 , t_2 :

$$U_m = \frac{A_3 \cdot R_\phi \cdot C_3 \cdot (C_1 + C_2)}{C_1 \cdot \omega} \cdot \sqrt{b_1^2 \cdot \omega^2 + (b_2 - \omega^2)^2}, \quad (3.14)$$

де:

$$A_3 = \frac{\omega \cdot \left[-\Delta u_{усталене} \cdot T - \frac{A_1}{p_1} \cdot (e^{p_1 \cdot (T - \Delta t)} - 1) - \frac{A_2}{p_2} \cdot (e^{p_2 \cdot (T - \Delta t)} - 1) - \frac{A_4}{p_3} \cdot (e^{p_3 \cdot \Delta t} - 1) - \frac{A_5}{p_4} \cdot (e^{p_4 \cdot \Delta t} - 1) \right]}{\cos \psi - \cos(\omega \cdot \Delta t + \psi)},$$

$$t_1 = \frac{\arcsin\left(\frac{1}{U_m} \cdot X_1 - 1\right)}{\omega}, \quad (3.15)$$

$$\text{де: } X_1 = I_0 \cdot R_\phi + (U_0 + I_0 \cdot r) \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_{\Pi H}} \right) +$$

$$+ (\Delta u_{усталене} + A_3 \cdot \sin \psi + A_4 + A_5) \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_{\Pi H}} + \frac{R_\phi}{R_o + r} \right) + C_3 \cdot R_\phi \cdot (\omega \cdot A_3 \cdot \cos \psi + p_3 \cdot A_4 + p_4 \cdot A_5).$$

$$t_2 = \frac{\arccos\left(\frac{X_2}{U_m \cdot \omega}\right)}{\omega},$$

(3.16)

$$\text{де: } X_2 = C_3 \cdot R_\phi \cdot \left(-\omega^2 \cdot A_3 \cdot \sin(\omega \cdot \Delta t + \psi) + p_3^2 \cdot A_4 \cdot e^{p_3 \cdot \Delta t} + p_4^2 \cdot A_5 \cdot e^{p_4 \cdot \Delta t} \right) +$$

$$+ \left(1 + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_{\Pi H}} + \frac{R_\phi}{R_o + r} \right) \times (\omega \cdot A_3 \cdot \cos(\omega \cdot \Delta t + \psi) + p_3 \cdot A_4 \cdot e^{p_3 \cdot \Delta t} + p_4 \cdot A_5 \cdot e^{p_4 \cdot \Delta t}),$$

$$\Delta t = t_2 - t_1.$$

У підсумку одержана система рівнянь з сьома невідомими: $A_1; A_2; A_4; A_5; U_m; t_1; t_2$. Проведений аналіз показує, що ця система має 1 рішення в множині дійсних чисел.

Були проведені розрахунки за рішенням системи рівнянь для параметрів $r=10$ кОм для режимів $\bar{U}_{нав}=1...10$ кВ та $r=60$ кОм для режимів $\bar{U}_{нав}=20...180$ кВ. Значення r_0 визначалось згідно [9] рівним 22 Ом для кожного стабілітрона, а $R_0 = n \cdot r_0$, n - кількість стабілітронів, відповідна кожному режиму $\bar{U}_{нав}$, що визначена виходячи із середнього значення напруги стабілізації Д818Д $u_0=9$ В. За результатами розрахунків визначались максимальні позитивні значення пульсації $\Delta u(t)=\Delta_1$ та мінімальні від'ємні значення пульсації $\Delta u(t)=\Delta_2$, а також коефіцієнт амплітуди пульсацій:

$$\Delta_{\Pi} = \frac{0,5 \cdot (\Delta_1 - \Delta_2)}{\bar{U}_{нав}} \cdot 100\% . \quad (3.17)$$

Отримані результати розрахунків для граничного випадку $R_2 \rightarrow \infty, R_3 \rightarrow \infty$ наведені в табл. 3.1.

За одержаними результатами розрахунків на рис. 3.3, 3.4 побудова залежність коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{Π} та напруги U_m джерела живлення установки від напруги навантаження $\bar{U}_{нав}$ [16]. В таблиці 3.1 також наведене значення сумарного струму навантаження $I_n = I_0 + I_{ПН}$ (мА) для кожного режиму установки.

Таблиця 3.1 – Розраховані значення напруги U_m , амплітуди пульсацій $\Delta_1; \Delta_2$ та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{Π} для 27 режимів живлення установки.

$\bar{U}_{нав}$, В	U_m , В	Δ_1 , В	Δ_2 , В	Δ_{Π} , %
1000	5971.38	3.54	-4.08	0.381
2000	6609.66	3.81	-4.88	0.217
3000	7248.03	4.45	-5.69	0.169
4000	7886.47	5.04	-6.49	0.144
5000	8524.96	5.57	-7.27	0.128

Продовження таблиці 3.1.

6000	9163.51	6.04	-8.04	0.117
7000	9802.11	6.44	-8.81	0.109
8000	10440.75	6.78	-9.54	0.102
9000	11079.43	7.07	-10.26	0.096
10000	11718.14	7.31	-10.97	0.091
20000	18266.51	11.41	-20.65	0.08
30000	24656.73	13.09	-24.15	0.062
40000	29271.22	11.71	-22.07	0.042
50000	35222.53	12.46	-23.82	0.036
60000	41174.21	13.18	-25.51	0.032
70000	46094.53	12.18	-23.86	0.025
80000	51900.12	12.63	-24.97	0.023
90000	57705.85	13.09	-26.05	0.021
100000	62041.26	11.11	-22.32	0.017
110000	67700.81	11.39	-22.88	0.016
120000	73360.42	11.67	-23.43	0.015
130000	79020.08	11.95	-23.97	0.014
140000	84679.79	12.22	-24.51	0.013
150000	90339.54	12.49	-25.03	0.012
160000	95999.33	12.76	-25.55	0.0119
170000	101659.13	13.02	-26.07	0.0115
180000	107318.96	13.29	-26.59	0.0111

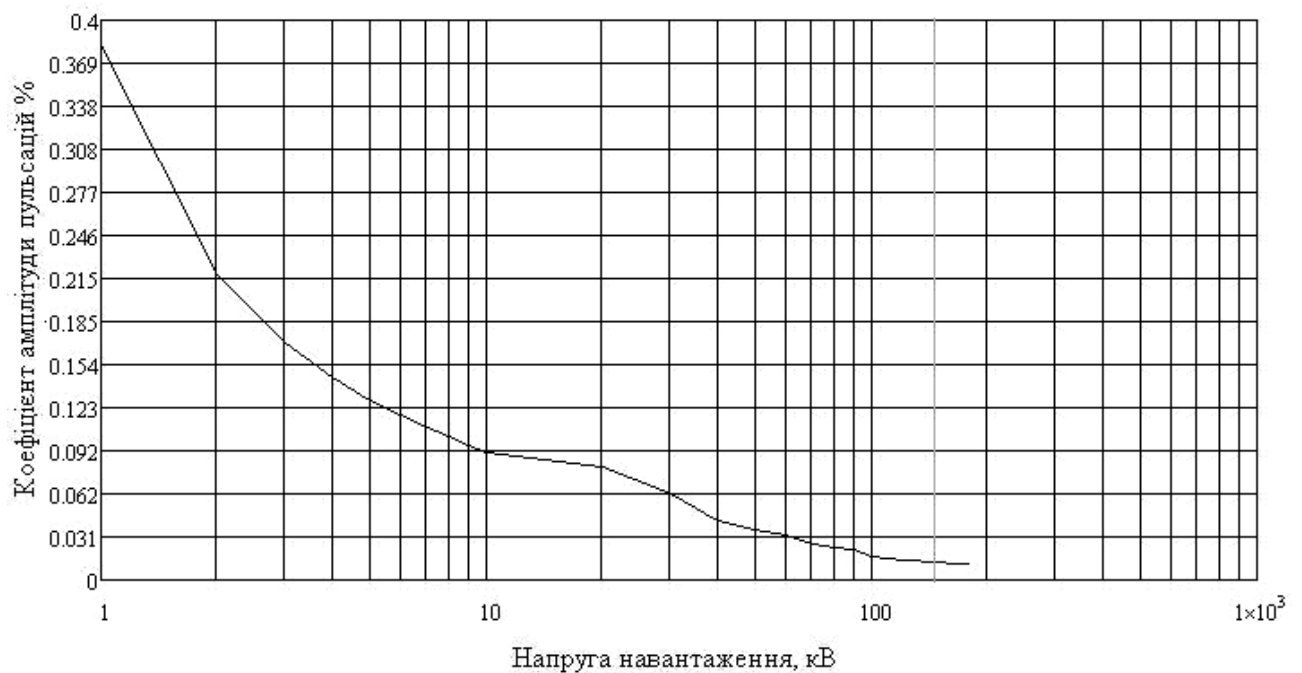


Рис. 3.3. – Залежність коефіцієнта амплітуди пульсацій від напруги навантаження $\bar{U}_{нав}$ в діапазоні 1...180 кВ

Залежність, наведена на рис. 3.3. показує, що зі збільшенням напруги навантаження $\bar{U}_{нав}$ коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_{II} відповідно зменшується[14]. В режимі $\bar{U}_{нав} = 1$ кВ коефіцієнт амплітуди пульсацій $\Delta_{II} = 0.381\%$, а режимі $\bar{U}_{нав} = 180$ кВ коефіцієнт амплітуди пульсацій становить $\Delta_{II} = 0.0111\%$. Визначені значення пульсацій в різних режимах роботи установки відрізняються фактично в 35 разів.

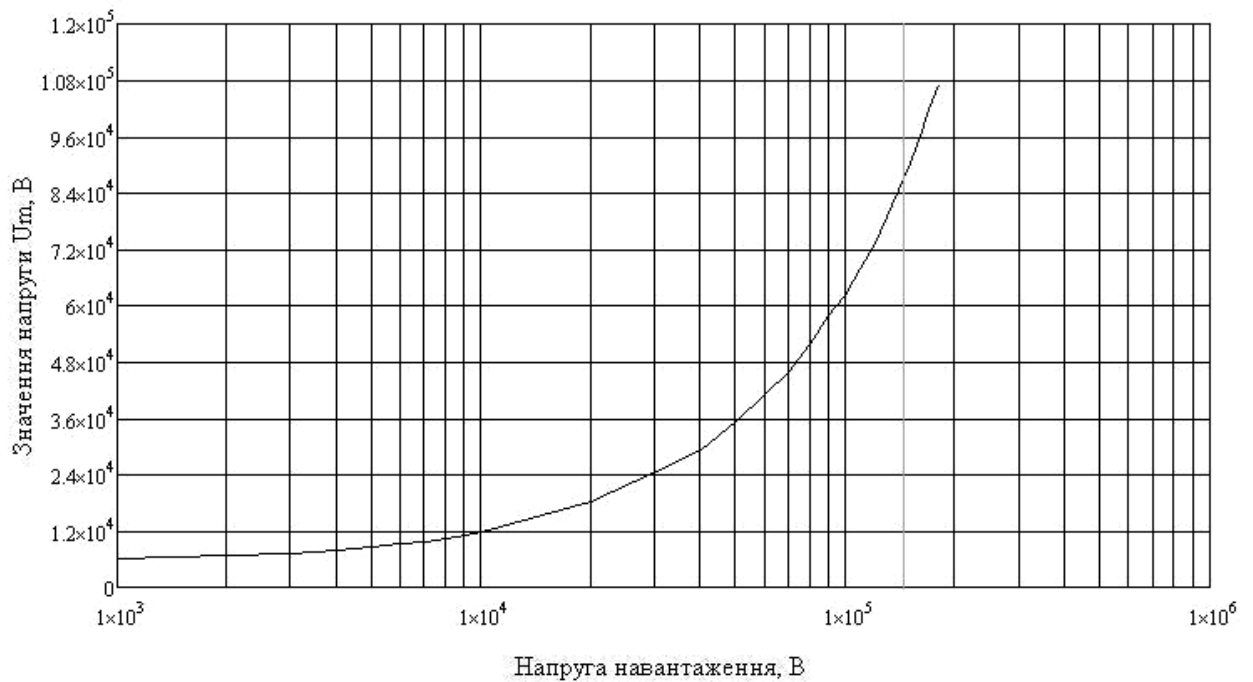


Рис. 3.4. – Залежність напруги U_m джерела живлення від напруги навантаження $\bar{U}_{нав}$ в діапазоні $1 \dots 180$ кВ.

Залежність, наведена на рис.3.4 показує, що зі збільшенням напруги навантаження $\bar{U}_{нав}$ значення напруги U_m збільшується за певною нелінійною залежністю[14]. Запропонована математична модель адекватно відображає процеси, які відбуваються в схемі живлення установки високої напруги постійного струму.

3.3.1. Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 ($R_2=1 \cdot R_H$)

За допомогою програми MathCad були розраховані значення напруги U_m , амплітуди пульсацій $\Delta_1; \Delta_2$ та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{II} функціональної схеми живлення установки високої напруги постійного струму для різних режимів напруги при значенні опору $R_2=1 \cdot R_H$, результати яких наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розраховані значення напруги U_m , амплітуди пульсацій $\Delta_1; \Delta_2$ та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{II} для опору $R_2=1 \cdot R_H$ для 7 режимів живлення установки.

$U_{\text{нав}}, \text{кВ}$	$R_H, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$U_m, \text{В}$	$\Delta_1, \text{В}$	$\Delta_2, \text{В}$	$\Delta_a, \text{В}$	$\Delta_{II}, \%$
10	1714285,7	$1 \cdot R_H$	68981.82	146,48	-222,72	184,61	1,84
	1714285,7	$1.25 \cdot R_H$	64621.74	137,52	-209,39	173,46	1,73
	1714285,7	$1.67 \cdot R_H$	60260.64	128,45	-195,97	162,21	1,62
	1714285,7	$2.5 \cdot R_H$	55898.25	119,25	-182,45	150,85	1,508
	1714285,7	$5 \cdot R_H$	51534.26	109,94	-168,84	139,39	1,39
30	4000000	$1 \cdot R_H$	142367.36	715,07	-818,83	766,95	2,55
	4000000	$1.25 \cdot R_H$	136225.41	685,29	-785,35	735,3	2,45
	4000000	$1.67 \cdot R_H$	130081.86	655,36	-751,75	703,55	2,34
	4000000	$2.5 \cdot R_H$	123936.46	625,29	-718,02	671,65	2,23
	4000000	$5 \cdot R_H$	117788.92	595,07	-684,16	639,62	2,13
60	8000000	$1 \cdot R_H$	239027.13	1496,18	-1650,42	1573,31	2,62
	8000000	$1.25 \cdot R_H$	232697.39	1457,77	-1608,65	1533,21	2,55
	8000000	$1.67 \cdot R_H$	226366.37	1419,29	-1566,82	1493,05	2,48
	8000000	$2.5 \cdot R_H$	220033.93	1380,73	-1524,93	1452,83	2,42
	8000000	$5 \cdot R_H$	213699.97	1342,11	-1482,97	1412,54	2,35
90	12000000	$1 \cdot R_H$	334582.13	2222,08	-2428,05	2325,07	2,58
	12000000	$1.25 \cdot R_H$	328190.71	2180,89	-2383,57	2282,23	2,53
	12000000	$1.67 \cdot R_H$	321798.27	2139,65	-2339,05	2239,35	2,48
	12000000	$2.5 \cdot R_H$	315404.71	2098,38	-2294,49	2196,43	2,44
	12000000	$5 \cdot R_H$	309009.99	2057,06	-2249,89	2153,47	2,39
120	18000000	$1 \cdot R_H$	426809.47	2908,53	-3168,08	3038,31	2,53
	18000000	$1.25 \cdot R_H$	421091.84	2870,71	-3127,39	2999,05	2,49
	18000000	$1.67 \cdot R_H$	415373.52	2832,86	-3086,67	2959,77	2,46
	18000000	$2.5 \cdot R_H$	409654.48	2794,99	-3045,92	2920,46	2,43
	18000000	$5 \cdot R_H$	403934.68	2757,11	-3005,15	2881,13	2,41
150	21176471	$1 \cdot R_H$	523506.43	3615,31	-3932,21	3773,75	2,53
	21176471	$1.25 \cdot R_H$	517419.76	3574,51	-3888,31	3731,41	2,48
	21176471	$1.67 \cdot R_H$	511332.45	3533,68	-3844,36	3689,02	2,45
	21176471	$2.5 \cdot R_H$	505244.44	3492,84	-3800,41	3646,62	2,43
	21176471	$5 \cdot R_H$	499155.73	3451,98	-3756,43	3604,21	2,402
180	24000000	$1 \cdot R_H$	620175.35	4317,89	-4702,44	4510,17	2,51
	24000000	$1.25 \cdot R_H$	613722.38	4274,28	-4655,42	4464,85	2,48
	24000000	$1.67 \cdot R_H$	607268.78	4230,66	-4608,37	4419,52	2,455
	24000000	$2.5 \cdot R_H$	600814.52	4187,02	-4561,31	4374,16	2,431
	24000000	$5 \cdot R_H$	594359.58	4143,37	-4514,22	4328,79	2,404

3.3.2. Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 ($R_2=1,25 \cdot R_H$)

Спираючись на попередні вказівки розрахунку даного завдання отримаємо загальну картину розрахунку значення напруги U_m , амплітуди пульсацій Δ_1, Δ_2 та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{Π} функціональної схеми живлення установки високої напруги постійного струму для різних режимів напруги при значенні опору $R_2=1,25 \cdot R_H$, результати яких наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розраховані значення напруги U_m , амплітуди пульсацій Δ_1, Δ_2 та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{Π} для опору $R_2=1,25 \cdot R_H$ для 7 режимів живлення установки.

$U_{\text{нав}}, \text{кВ}$	$R_H, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$U_m, \text{В}$	$\Delta_1, \text{В}$	$\Delta_2, \text{В}$	$\Delta_a, \text{В}$	$\Delta_{\Pi}, \%$
10	1714285,7	$1 \cdot R_H$	71135,92	147,22	-230,64	188,93	1,88
	1714285,7	$1,25 \cdot R_H$	66620,19	138,22	-216,78	177,51	1,77
	1714285,7	$1,67 \cdot R_H$	62103,53	129,11	-202,82	165,97	1,65
	1714285,7	$2,5 \cdot R_H$	57585,72	119,87	-188,77	154,32	1,54
	1714285,7	$5 \cdot R_H$	53066,47	110,51	-174,62	142,56	1,42
30	4000000	$1 \cdot R_H$	143816,91	721,62	-829,25	775,43	2,58
	4000000	$1,25 \cdot R_H$	137599,89	691,51	-795,26	743,39	2,47
	4000000	$1,67 \cdot R_H$	131381,34	661,26	-761,15	711,21	2,37
	4000000	$2,5 \cdot R_H$	125160,99	630,87	-726,91	678,89	2,26
	4000000	$5 \cdot R_H$	118938,58	600,32	-692,55	646,43	2,15
60	8000000	$1 \cdot R_H$	240119,14	1503,55	-1660,08	1581,81	2,63
	8000000	$1,25 \cdot R_H$	233753,59	1464,91	-1618,01	1541,46	2,56
	8000000	$1,67 \cdot R_H$	227386,78	1426,18	-1575,88	1501,03	2,51
	8000000	$2,5 \cdot R_H$	221018,57	1387,39	-1533,69	1460,54	2,43
	8000000	$5 \cdot R_H$	214648,87	1348,53	-1491,43	1419,98	2,36
90	12000000	$1 \cdot R_H$	335561,69	2229,46	-2437,22	2333,34	2,59
	12000000	$1,25 \cdot R_H$	329146,77	2188,09	-2392,52	2290,31	2,54
	12000000	$1,67 \cdot R_H$	322730,84	2146,69	-2347,79	2247,24	2,49
	12000000	$2,5 \cdot R_H$	316313,81	2105,24	-2303,02	2204,13	2,44
	12000000	$5 \cdot R_H$	309895,61	2063,74	-2258,21	2160,98	2,41
120	18000000	$1 \cdot R_H$	427620,91	2914,95	-3175,82	3045,39	2,53
	18000000	$1,25 \cdot R_H$	421889,49	2877,02	-3135,01	3006,01	2,51
	18000000	$1,67 \cdot R_H$	416157,41	2839,07	-3094,15	2966,61	2,47
	18000000	$2,5 \cdot R_H$	410424,57	2801,11	-3053,28	2927,19	2,43
	18000000	$5 \cdot R_H$	404691,01	2763,11	-3012,39	2887,74	2,41
150	21176471	$1 \cdot R_H$	524344,41	3622,12	-3940,24	3781,18	2,539
	21176471	$1,25 \cdot R_H$	518245,33	3581,22	-3896,22	3738,72	2,49
	21176471	$1,67 \cdot R_H$	512145,61	3540,31	-3852,17	3696,24	2,46
	21176471	$2,5 \cdot R_H$	506045,21	3499,36	-3808,11	3653,73	2,43
	21176471	$5 \cdot R_H$	499944,11	3458,41	-3764,01	3611,21	2,41
180	24000000	$1 \cdot R_H$	621045,64	4325,09	-4710,88	4517,99	2,51
	24000000	$1,25 \cdot R_H$	614581,11	4281,41	-4663,75	4472,57	2,48
	24000000	$1,67 \cdot R_H$	608115,95	4237,68	-4616,59	4427,14	2,45
	24000000	$2,5 \cdot R_H$	601650,12	4193,95	-4569,42	4381,68	2,43
	24000000	$5 \cdot R_H$	595183,63	4150,21	-4522,22	4336,21	2,41

3.3.3. Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 ($R_2=1,67 \cdot R_H$)

Спираючись на попередні вказівки розрахунку даного завдання отримаємо загальну картину розрахунку значення напруги U_m , амплітуди пульсацій $\Delta_1; \Delta_2$ та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{Π} функціональної схеми живлення установки високої напруги постійного струму для різних режимів напруги при значенні опору $R_2=1,67 \cdot R_H$, результати яких наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Розраховані значення напруги U_m , амплітуди пульсацій $\Delta_1; \Delta_2$ та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{Π} для опору $R_2=1,67 \cdot R_H$ для 7 режимів живлення установки.

$U_{\text{нав}}, \text{кВ}$	$R_H, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$U_m, \text{В}$	$\Delta_1, \text{В}$	$\Delta_2, \text{В}$	$\Delta_a, \text{В}$	$\Delta_{\Pi}, \%$
10	1714285,7	$1 \cdot R_H$	73189,43	147,86	-238,32	193,09	1,93
	1714285,7	$1.25 \cdot R_H$	68525,71	138,84	-223,94	181,39	1,81
	1714285,7	$1.67 \cdot R_H$	63861,15	129,69	-209,47	169,58	1,69
	1714285,7	$2.5 \cdot R_H$	59195,55	120,42	-194,91	157,66	1,57
	1714285,7	$5 \cdot R_H$	54528,65	111,01	-180,22	145,62	1,45
30	4000000	$1 \cdot R_H$	145240,29	728,04	-839,53	783,78	2,61
	4000000	$1.25 \cdot R_H$	138949,65	697,62	-805,04	751,33	2,51
	4000000	$1.67 \cdot R_H$	132657,52	667,05	-770,43	718,74	2,39
	4000000	$2.5 \cdot R_H$	126363,66	636,34	-735,69	686,01	2,28
	4000000	$5 \cdot R_H$	120067,81	605,47	-700,82	653,14	2,17
60	8000000	$1 \cdot R_H$	241201,64	1510,84	-1669,69	1590,27	2,65
	8000000	$1.25 \cdot R_H$	234800,61	1471,97	-1627,32	1549,64	2,58
	8000000	$1.67 \cdot R_H$	228398,35	1433,01	-1584,89	1508,95	2,51
	8000000	$2.5 \cdot R_H$	221994,71	1393,99	-1542,39	1468,19	2,44
	8000000	$5 \cdot R_H$	215589,59	1354,91	-1499,84	1427,37	2,37
90	12000000	$1 \cdot R_H$	336535,64	2236,81	-2446,34	2341,57	2,6
	12000000	$1.25 \cdot R_H$	330097,36	2195,26	-2401,44	2298,35	2,55
	12000000	$1.67 \cdot R_H$	323658,08	2153,68	-2356,49	2255,09	2,51
	12000000	$2.5 \cdot R_H$	317217,71	2112,06	-2311,52	2211,79	2,45
	12000000	$5 \cdot R_H$	310776,19	2070,39	-2266,51	2168,44	2,41
120	18000000	$1 \cdot R_H$	428429,26	2921,35	-3183,53	3052,44	2,54
	18000000	$1.25 \cdot R_H$	422684,12	2883,322	-3142,58	3012,95	2,51
	18000000	$1.67 \cdot R_H$	416938,31	2845,26	-3101,62	2973,44	2,47
	18000000	$2.5 \cdot R_H$	411191,76	2807,18	-3060,62	2933,91	2,44
	18000000	$5 \cdot R_H$	405444,48	2769,07	-3019,61	2894,33	2,41
150	21176471	$1 \cdot R_H$	525179,69	3628,91	-3948,26	3788,59	2,545
	21176471	$1.25 \cdot R_H$	519068,25	3587,92	-3904,12	3746,02	2,49
	21176471	$1.67 \cdot R_H$	512956,17	3546,91	-3859,96	3703,43	2,46
	21176471	$2.5 \cdot R_H$	506843,41	3505,86	-3815,77	3660,82	2,44
	21176471	$5 \cdot R_H$	500729,95	3464,81	-3771,57	3618,19	2,41
180	24000000	$1 \cdot R_H$	621913,47	4332,28	-4719,3	4525,79	2,51
	24000000	$1.25 \cdot R_H$	615437,41	4288,49	-4672,06	4480,27	2,48
	24000000	$1.67 \cdot R_H$	608960,72	4244,68	-4624,8	4434,74	2,46
	24000000	$2.5 \cdot R_H$	602483,37	4200,85	-4577,52	4389,18	2,43
	24000000	$5 \cdot R_H$	596005,36	4157,01	-4530,21	4343,61	2,41

3.3.4. Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 ($R_2=2,5 \cdot R_H$)

Спираючись на попередні вказівки розрахунку даного завдання отримаємо загальну картину розрахунку значення напруги U_m , амплітуди пульсацій $\Delta_1; \Delta_2$ та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{Π} функціональної схеми живлення установки високої напруги постійного струму для різних режимів напруги при значенні опору $R_2=2,5 \cdot R_H$, результати яких наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розраховані значення напруги U_m , амплітуди пульсацій $\Delta_1; \Delta_2$ та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{Π} для опору $R_2=2,5 \cdot R_H$ для 7 режимів живлення установки.

$U_{\text{нав}}, \text{кВ}$	$R_H, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$U_m, \text{В}$	$\Delta_1, \text{В}$	$\Delta_2, \text{В}$	$\Delta_a, \text{В}$	$\Delta_{\Pi}, \%$
10	1714285,7	$1 \cdot R_H$	75150.95	148,42	-245,77	197,09	1,97
	1714285,7	$1.25 \cdot R_H$	70346.19	139,37	-230,9	185,14	1,85
	1714285,7	$1.67 \cdot R_H$	65540.68	130,2	-215,93	173,06	1,73
	1714285,7	$2.5 \cdot R_H$	60734.21	120,9	-200,85	160,87	1,6
	1714285,7	$5 \cdot R_H$	55926.54	111,46	-185,66	148,56	1,48
30	4000000	$1 \cdot R_H$	146638.35	734,33	-849,68	792,01	2,64
	4000000	$1.25 \cdot R_H$	140275.47	703,61	-814,71	759,16	2,53
	4000000	$1.67 \cdot R_H$	133911.14	672,7	-779,6	726,17	2,42
	4000000	$2.5 \cdot R_H$	127545.14	641,7	-744,37	693,03	2,31
	4000000	$5 \cdot R_H$	121177.2	610,52	-709,01	659,76	2,19
60	8000000	$1 \cdot R_H$	242274.78	1518,08	-1679,23	1598,65	2,66
	8000000	$1.25 \cdot R_H$	235838.6	1478,97	-1636,56	1557,77	2,59
	8000000	$1.67 \cdot R_H$	229401.19	1439,79	-1593,83	1516,81	2,52
	8000000	$2.5 \cdot R_H$	222962.44	1400,54	-1551,04	1475,79	2,45
	8000000	$5 \cdot R_H$	216522.23	1361,21	-1508,19	1434,7	2,39
90	12000000	$1 \cdot R_H$	337504.02	2244,09	-2455,43	2349,76	2,61
	12000000	$1.25 \cdot R_H$	331042.53	2202,38	-2410,31	2306,35	2,56
	12000000	$1.67 \cdot R_H$	324580.04	2160,63	-2365,16	2262,9	2,51
	12000000	$2.5 \cdot R_H$	318116.47	2118,84	-2319,97	2219,41	2,46
	12000000	$5 \cdot R_H$	311651.77	2077,01	-2274,75	2175,87	2,41
120	18000000	$1 \cdot R_H$	429234.56	2927,73	-3191,22	3059,47	2,54
	18000000	$1.25 \cdot R_H$	423475.74	2889,59	-3150,15	3019,87	2,51
	18000000	$1.67 \cdot R_H$	417716.26	2851,42	-3109,06	2980,24	2,48
	18000000	$2.5 \cdot R_H$	411956.05	2813,23	-3067,94	2940,59	2,45
	18000000	$5 \cdot R_H$	406195.12	2775,02	-3026,79	2900,91	2,41
150	21176471	$1 \cdot R_H$	526012.31	3635,69	-3956,25	3795,97	2,55
	21176471	$1.25 \cdot R_H$	519888.54	3594,61	-3912,01	3753,31	2,51
	21176471	$1.67 \cdot R_H$	513764.14	3553,48	-3867,73	3710,61	2,47
	21176471	$2.5 \cdot R_H$	507639.05	3512,34	-3823,43	3667,89	2,44
	21176471	$5 \cdot R_H$	501513.28	3471,19	-3779,11	3625,15	2,41
180	24000000	$1 \cdot R_H$	622778.85	4339,45	-4727,7	4533,57	2,51
	24000000	$1.25 \cdot R_H$	616291.29	4295,56	-4680,35	4487,9	2,49
	24000000	$1.67 \cdot R_H$	609803.11	4251,66	-4632,98	4442,32	2,46
	24000000	$2.5 \cdot R_H$	603314.27	4207,74	-4585,6	4396,67	2,44
	24000000	$5 \cdot R_H$	596824.76	4163,81	-4538,19	4350,99	2,41

3.3.5. Розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 ($R_2=5 \cdot R_H$)

Спираючись на попередні вказівки розрахунку даного завдання отримаємо загальну картину розрахунку значення напруги U_m , амплітуди пульсацій Δ_1, Δ_2 та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{Π} функціональної схеми живлення установки високої напруги постійного струму для різних режимів напруги при значенні опору $R_2=5 \cdot R_H$, результати яких наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розраховані значення напруги U_m , амплітуди пульсацій Δ_1, Δ_2 та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{Π} для опору $R_2=5 \cdot R_H$ для 7 режимів живлення установки.

$U_{\text{нав}}, \text{кВ}$	$R_H, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$U_m, \text{В}$	$\Delta_1, \text{В}$	$\Delta_2, \text{В}$	$\Delta_a, \text{В}$	$\Delta_{\Pi}, \%$
10	1714285,7	$1 \cdot R_H$	77027,83	148,91	-253,02	200,96	2,01
	1714285,7	$1.25 \cdot R_H$	72088,39	139,85	-237,67	188,76	1,88
	1714285,7	$1.67 \cdot R_H$	67148,24	130,66	-222,21	176,43	1,76
	1714285,7	$2.5 \cdot R_H$	62207,22	121,33	-206,64	163,98	1,63
	1714285,7	$5 \cdot R_H$	57265,11	111,86	-190,96	151,41	1,51
30	4000000	$1 \cdot R_H$	148011,84	740,51	-859,71	800,11	2,66
	4000000	$1.25 \cdot R_H$	141578,04	709,48	-824,25	766,87	2,55
	4000000	$1.67 \cdot R_H$	135142,86	678,31	-788,66	733,48	2,44
	4000000	$2.5 \cdot R_H$	128706,04	646,97	-752,93	699,95	2,33
	4000000	$5 \cdot R_H$	122267,36	615,47	-717,08	666,27	2,22
60	8000000	$1 \cdot R_H$	243338,68	1525,25	-1688,71	1606,98	2,67
	8000000	$1.25 \cdot R_H$	236867,66	1485,91	-1645,75	1565,83	2,61
	8000000	$1.67 \cdot R_H$	230395,45	1446,51	-1602,72	1524,61	2,54
	8000000	$2.5 \cdot R_H$	223921,91	1407,02	-1559,63	1483,33	2,47
	8000000	$5 \cdot R_H$	217446,92	1367,47	-1516,48	1441,97	2,41
90	12000000	$1 \cdot R_H$	338466,89	2251,34	-2464,47	2357,91	2,62
	12000000	$1.25 \cdot R_H$	331982,32	2209,47	-2419,15	2314,31	2,57
	12000000	$1.67 \cdot R_H$	325496,76	2167,55	-2373,79	2270,67	2,52
	12000000	$2.5 \cdot R_H$	319010,14	2125,58	-2328,41	2226,99	2,47
	12000000	$5 \cdot R_H$	312522,39	2083,57	-2282,96	2183,27	2,42
120	18000000	$1 \cdot R_H$	430036,82	2934,08	-3198,89	3066,49	2,55
	18000000	$1.25 \cdot R_H$	424264,39	2895,83	-3157,71	3026,7	2,52
	18000000	$1.67 \cdot R_H$	418491,28	2857,56	-3116,48	2987,02	2,48
	18000000	$2.5 \cdot R_H$	412717,47	2819,27	-3075,23	2947,25	2,45
	18000000	$5 \cdot R_H$	406942,93	2780,95	-3033,96	2907,46	2,42
150	21176471	$1 \cdot R_H$	526842,24	3642,45	-3964,23	3803,34	2,535
	21176471	$1.25 \cdot R_H$	520706,21	3601,25	-3919,86	3760,56	2,51
	21176471	$1.67 \cdot R_H$	514569,52	3560,04	-3875,48	3717,76	2,47
	21176471	$2.5 \cdot R_H$	508432,16	3518,81	-3831,07	3674,94	2,44
	21176471	$5 \cdot R_H$	502294,12	3477,55	-3786,63	3632,09	2,42
180	24000000	$1 \cdot R_H$	623641,79	4346,59	-4736,08	4541,33	2,522
	24000000	$1.25 \cdot R_H$	617142,77	4302,61	-4688,62	4495,62	2,49
	24000000	$1.67 \cdot R_H$	610643,13	4258,62	-4641,15	4449,88	2,47
	24000000	$2.5 \cdot R_H$	604142,83	4214,61	-4593,66	4404,13	2,44
	24000000	$5 \cdot R_H$	597641,87	4170,57	-4546,14	4358,36	2,42

3.3.6. Аналіз впливу опорів R_2 та R_3 на значення коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_n в різних режимах живлення установки

За допомогою отриманих результатів вищенаведених розрахунків будемо залежність коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_n від значення опорів R_2 та R_3 для різних режимів живлення установки.

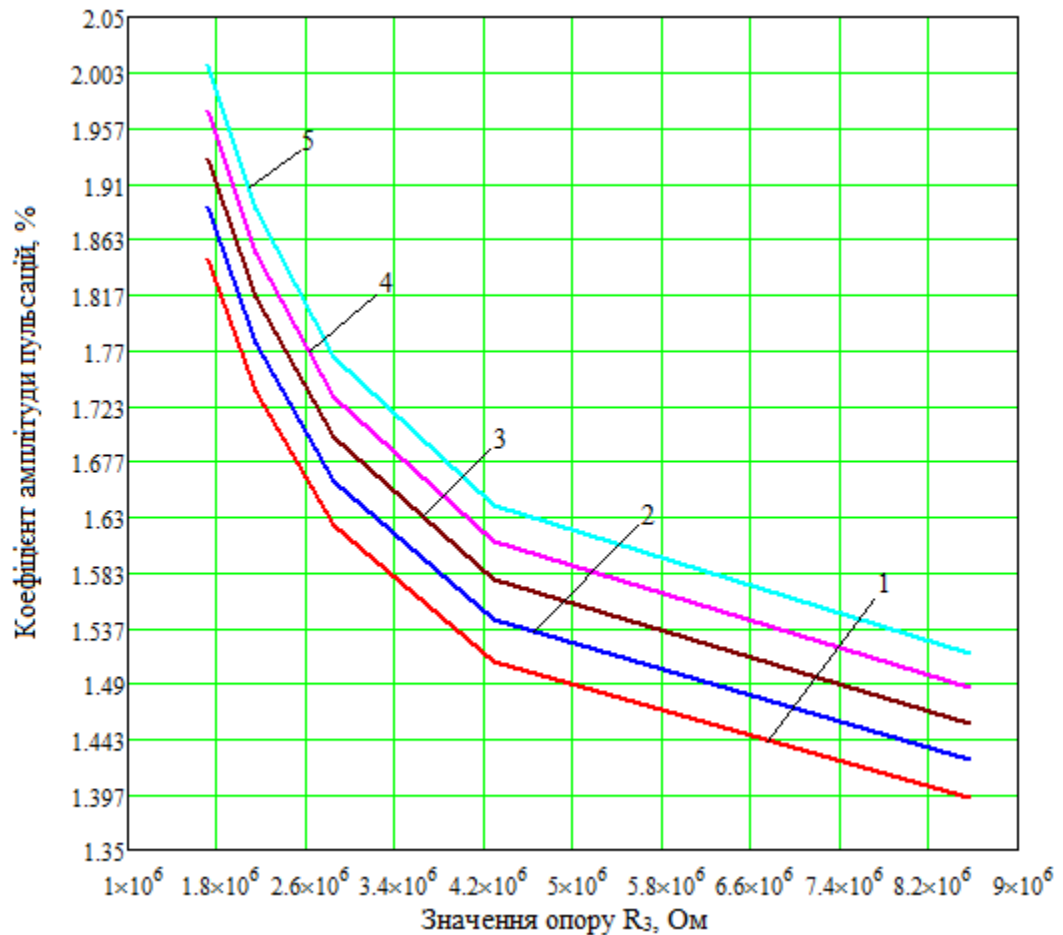


Рис. 3.5. – Залежність коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_n від опору R_3 для режиму напруги 10 кВ.

де:

- 1 – значення опору $R_2 = 1 \cdot R_H$;
- 2 – значення опору $R_2 = 1,25 \cdot R_H$;
- 3 – значення опору $R_2 = 1.67 \cdot R_H$;
- 4 – значення опору $R_2 = 2,5 \cdot R_H$;
- 5 – значення опору $R_2 = 5 \cdot R_H$.

Залежність, наведена на рис. 3.5. показує, що зі збільшенням опору R_3 коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_{II} відповідно зменшується. В режимі $\bar{U}_{нав} = 10$ кВ коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_{II} з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 змінюється в межах від 1,39% до 2,01%.

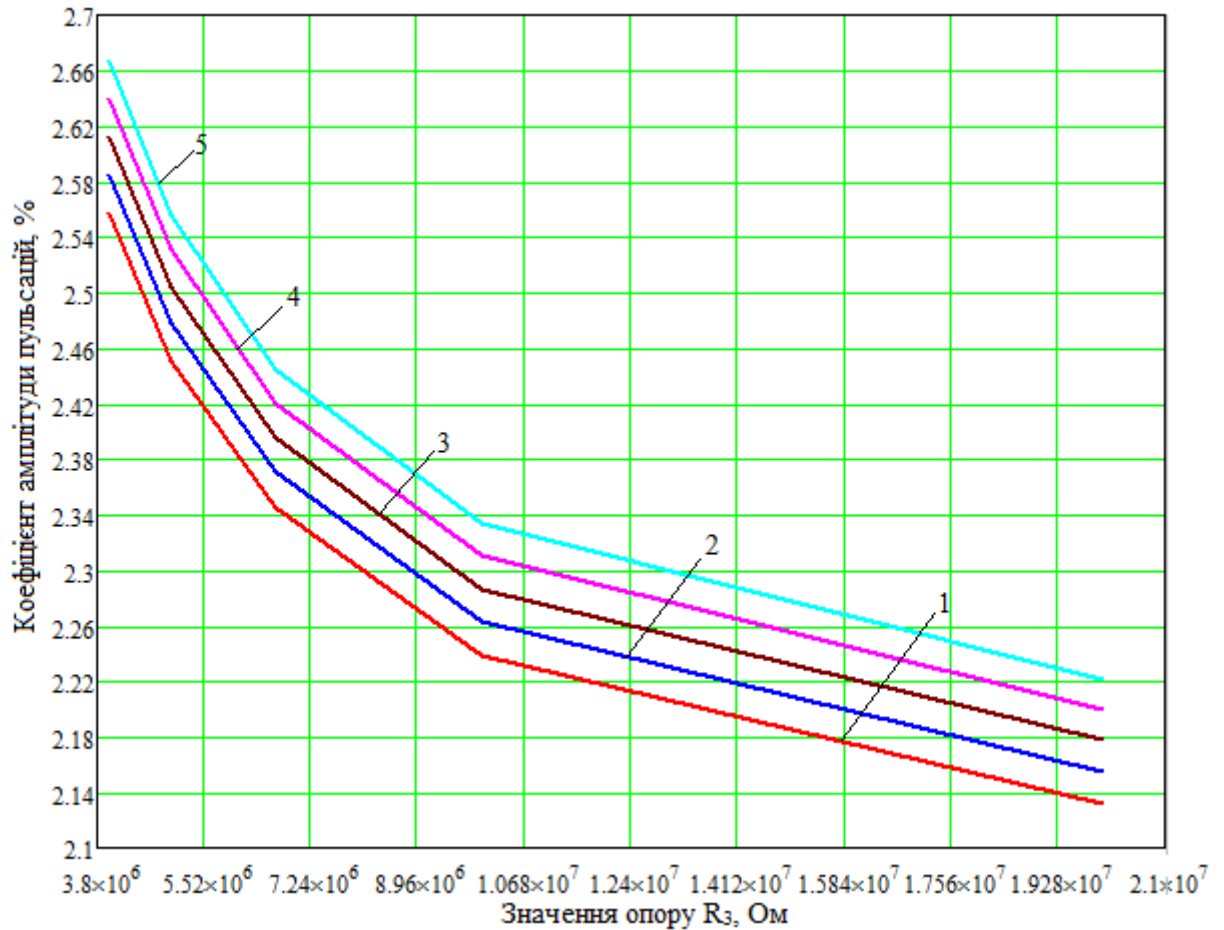


Рис. 3.6. – Залежність коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{II} від опору R_3 для режиму напруги 30 кВ.

де:

- 1 – значення опору $R_2 = 1 \cdot R_H$;
- 2 – значення опору $R_2 = 1,25 \cdot R_H$;
- 3 – значення опору $R_2 = 1,67 \cdot R_H$;
- 4 – значення опору $R_2 = 2,5 \cdot R_H$;
- 5 – значення опору $R_2 = 5 \cdot R_H$.

Залежність, наведена на рис. 3.6. показує, що зі збільшенням опору R_3 коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_{II} відповідно зменшується. В режимі $\bar{U}_{нав} =$

30 кВ коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_{II} з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 змінюється в межах від 2,13% до 2,66%.

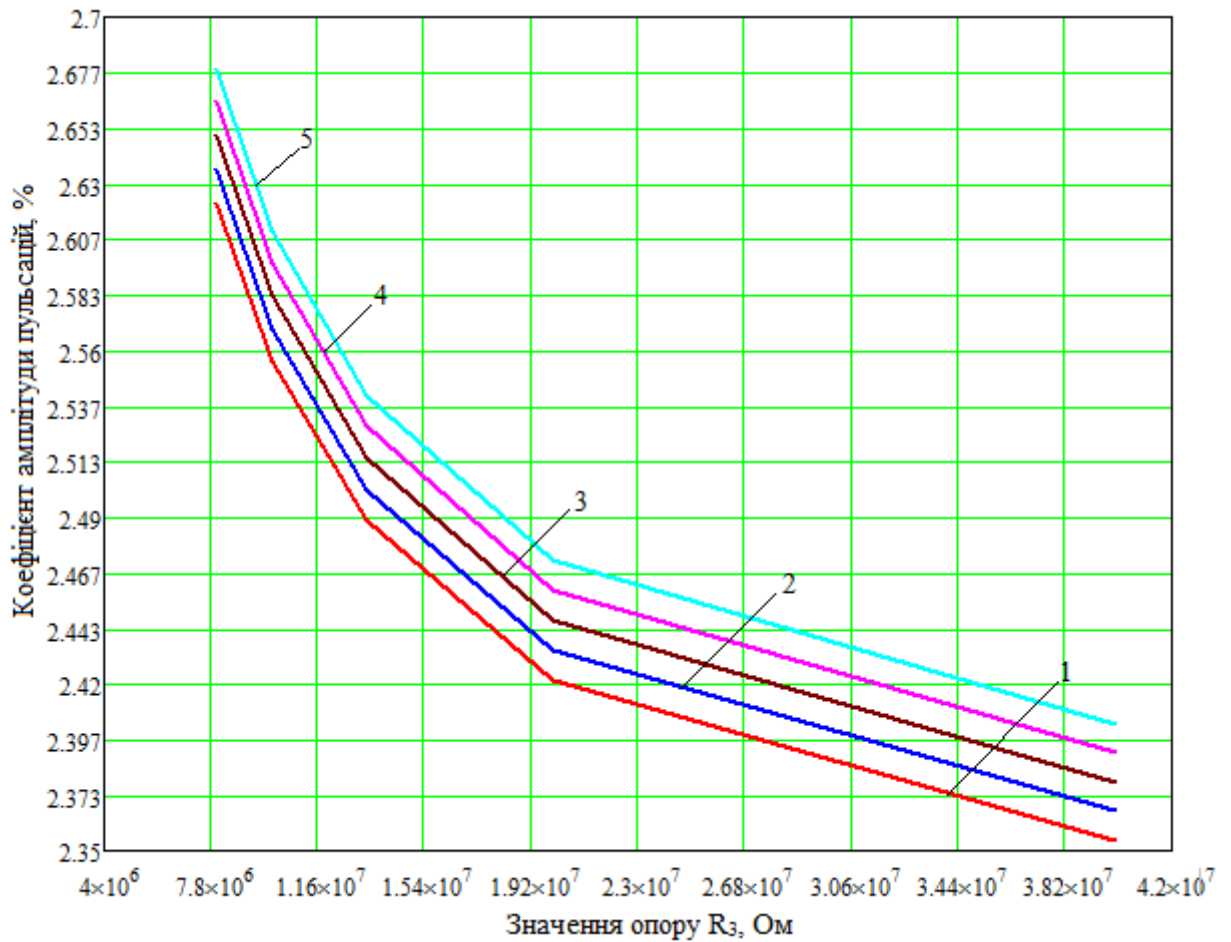


Рис. 3.7. – Залежність коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{II} від опору R_3 для режиму напруги 60 кВ.

де:

- 1 – значення опору $R_2 = 1 \cdot R_H$;
- 2 – значення опору $R_2 = 1,25 \cdot R_H$;
- 3 – значення опору $R_2 = 1,67 \cdot R_H$;
- 4 – значення опору $R_2 = 2,5 \cdot R_H$;
- 5 – значення опору $R_2 = 5 \cdot R_H$.

Залежність, наведена на рис. 3.7. показує, що зі збільшенням опору R_3 коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_{II} відповідно зменшується. В режимі $\bar{U}_{нав} =$

60 кВ коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_{II} з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 змінюються в межах від 2,35% до 2,67%.

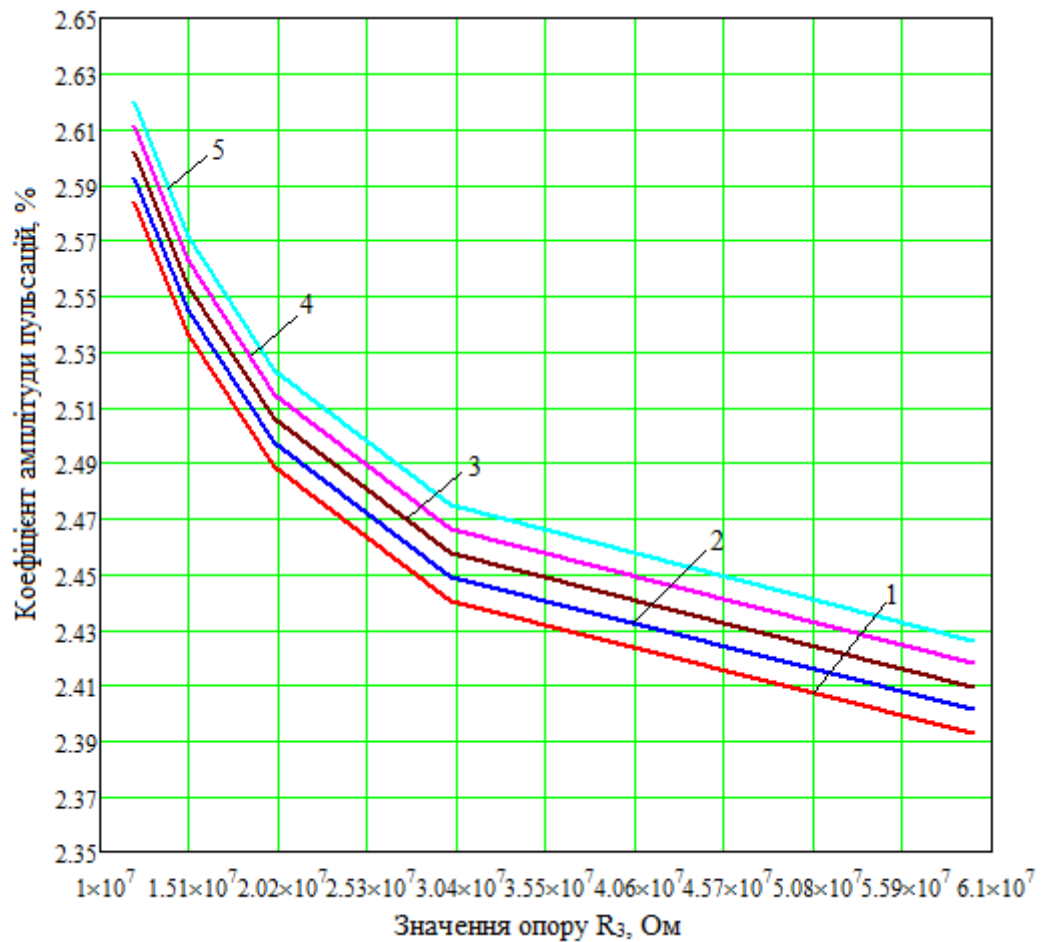


Рис. 3.8. – Залежність коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{II} від опору R_3 для режиму напруги 90 кВ.

де:

- 1 – значення опору $R_2 = 1 \cdot R_H$;
- 2 – значення опору $R_2 = 1,25 \cdot R_H$;
- 3 – значення опору $R_2 = 1,67 \cdot R_H$;
- 4 – значення опору $R_2 = 2,5 \cdot R_H$;
- 5 – значення опору $R_2 = 5 \cdot R_H$.

Залежність, наведена на рис. 3.8. показує, що зі збільшенням опору R_3 коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_{II} відповідно зменшується. В режимі $\bar{U}_{нав} = 90$ кВ коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_{II} з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 змінюються в межах від 2,39% до 2,62%.

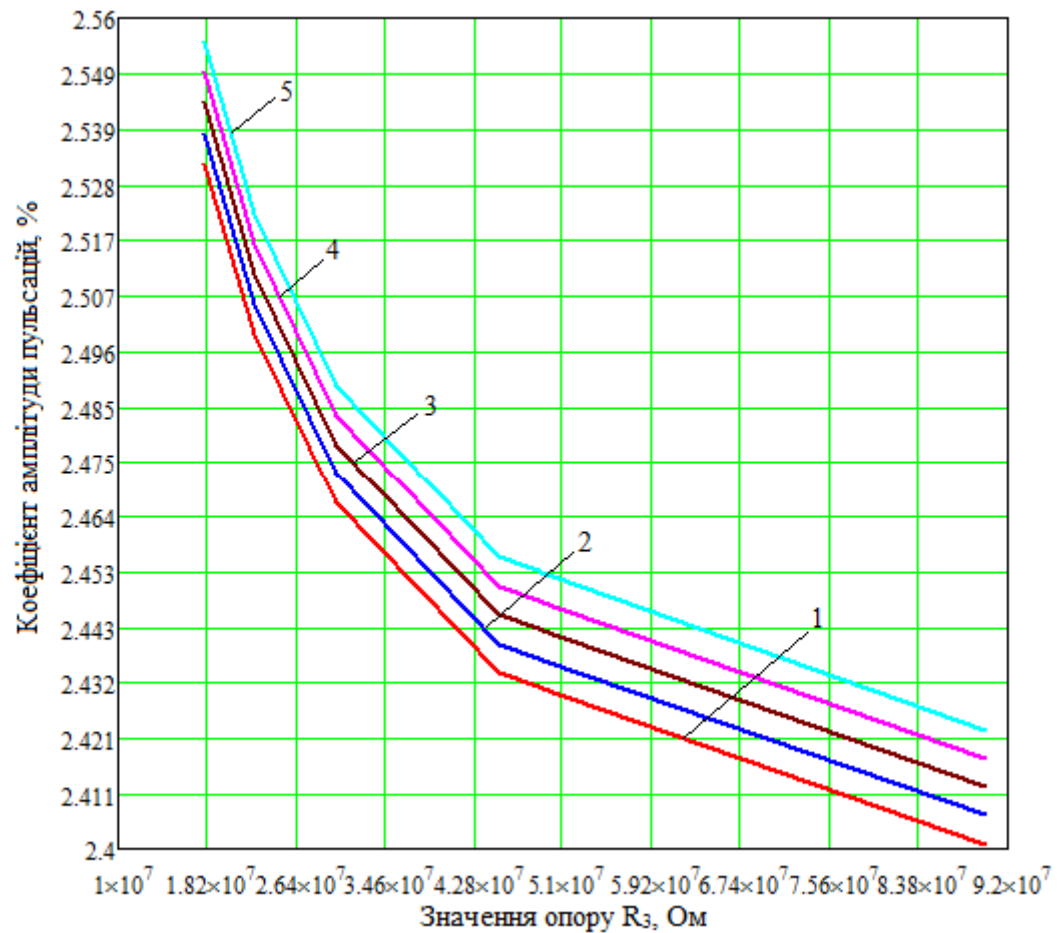


Рис. 3.9. – Залежність коефіцієнта амплітуди пульсацій $\Delta\Pi$ від опору R_3 для режиму напруги 120 кВ.

де:

- 1 – значення опору $R_2 = 1 \cdot R_H$;
- 2 – значення опору $R_2 = 1,25 \cdot R_H$;
- 3 – значення опору $R_2 = 1,67 \cdot R_H$;
- 4 – значення опору $R_2 = 2,5 \cdot R_H$;
- 5 – значення опору $R_2 = 5 \cdot R_H$.

Залежність, наведена на рис. 3.9. показує, що зі збільшенням опору R_3 коефіцієнт амплітуди пульсацій $\Delta\Pi$ відповідно зменшується. В режимі $\bar{U}_{нав} = 120$ кВ коефіцієнт амплітуди пульсацій $\Delta\Pi$ з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 змінюються в межах від 2,41% до 2,55%.

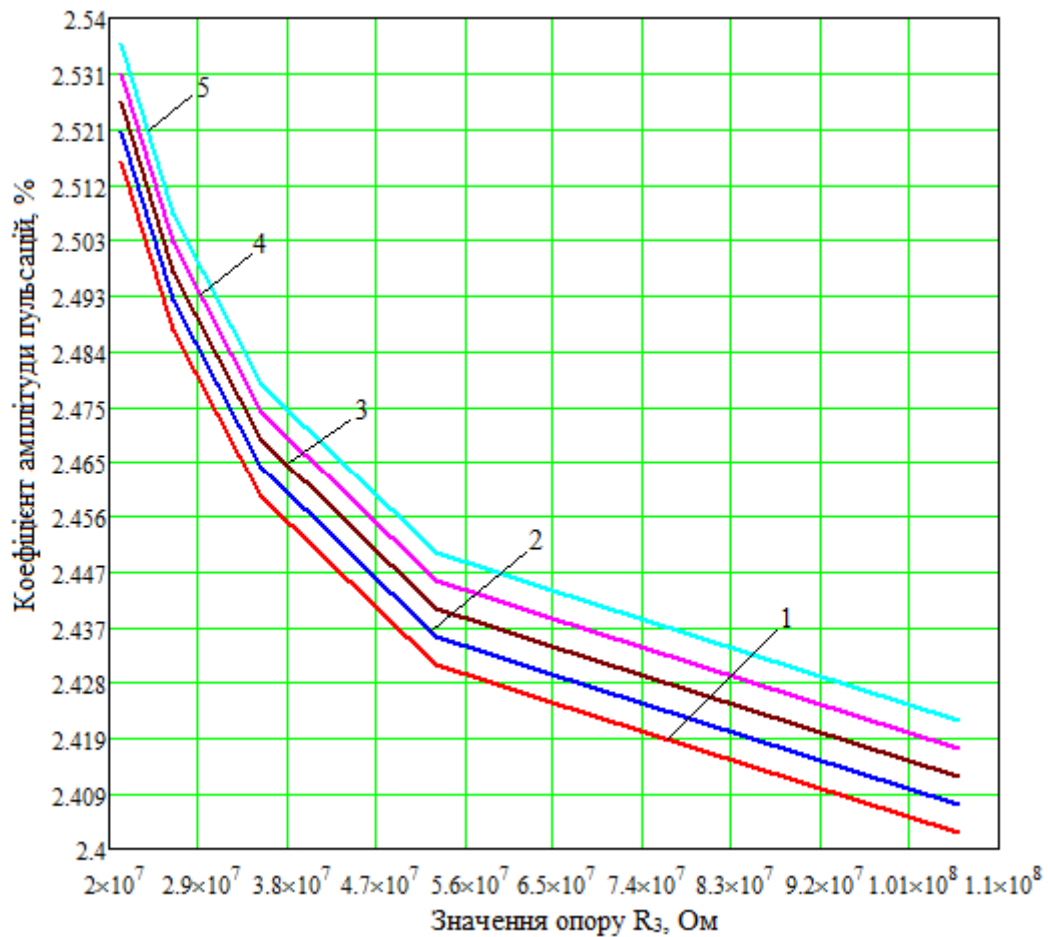


Рис. 3.10. – Залежність коефіцієнта амплітуди пульсацій $\Delta_{\text{п}}$ від опору R_3 для режиму напруги 150 кВ.

де:

- 1 – значення опору $R_2 = 1 \cdot R_H$;
- 2 – значення опору $R_2 = 1.25 \cdot R_H$;
- 3 – значення опору $R_2 = 1.67 \cdot R_H$;
- 4 – значення опору $R_2 = 2.5 \cdot R_H$;
- 5 – значення опору $R_2 = 5 \cdot R_H$.

Залежність, наведена на рис. 3.10. показує, що зі збільшенням опору R_3 коефіцієнт амплітуди пульсацій $\Delta_{\text{п}}$ відповідно зменшується. В режимі $\bar{U}_{\text{нав}} = 150$ кВ коефіцієнт амплітуди пульсацій $\Delta_{\text{п}}$ з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 змінюються в межах від 2,402% до 2,535%.

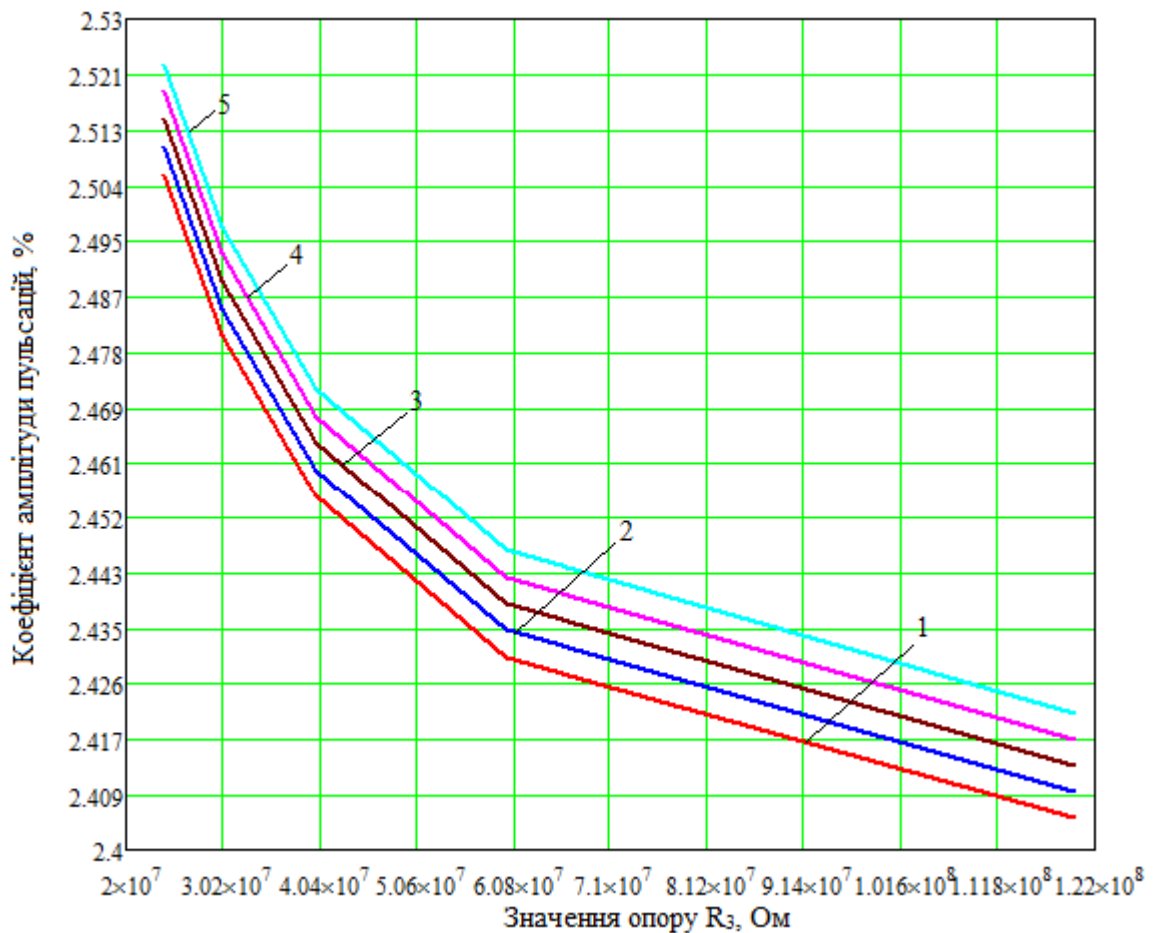


Рис. 3.11. – Залежність коефіцієнта амплітуди пульсацій $\Delta \Pi$ від опору R_3 для режиму напруги 180 кВ.

де:

- 1 – значення опору $R_2 = 1 \cdot R_H$;
- 2 – значення опору $R_2 = 1,25 \cdot R_H$;
- 3 – значення опору $R_2 = 1.67 \cdot R_H$;
- 4 – значення опору $R_2 = 2,5 \cdot R_H$;
- 5 – значення опору $R_2 = 5 \cdot R_H$.

Залежність, наведена на рис. 3.11. показує, що зі збільшенням опору R_3 коефіцієнт амплітуди пульсацій $\Delta \Pi$ відповідно зменшується. В режимі $\bar{U}_{нав} = 180$ кВ коефіцієнт амплітуди пульсацій $\Delta \Pi$ з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 змінюються в межах від 2,404% до 2,522%.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ:

В даному розділі були розраховані режими високовольтного джерела напруги постійного струму еталону в діапазоні від 1 до 180 кВ за допомогою комп'ютерної програми MathCAD 14, що дало можливість дослідити вплив опорів R_2 та R_3 на коефіцієнт амплітуди пульсацій установки високої напруги постійного струму.

Для загального випадку нелінійного навантаження високовольтного джерела постійного струму знайдено аналітичне рішення для його напруги та її нелінійної пульсації в кінцевих виразах.

Застосувавши запропонований аналітичний метод, розраховано параметри схеми живлення зразка установки високої напруги постійного струму. Можна зазначити, що в режимі робочої напруги 1 кВ амплітуда пульсації напруги фактично складає 0,38 % (за проведеними розрахунками – 0.3814 %), а в режимі 180 кВ – 0.0111 %. Коефіцієнт пульсацій Δ_n суттєво залежить від режиму установки високої напруги постійного струму та її навантаження.

З отриманих результатів можна сказати, що зі збільшенням опорів R_2 та R_3 коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_n зменшується фактично в 1,5 рази.

Одержані результати показують, що запропонований аналітичний метод дозволяє здійснювати точні розрахунки режимів напруги високовольтних установок з нелінійним навантаженням, що визначають їх якісні характеристики як джерел живлення високовольтних технологічних установок.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «Дослідження режимів напруги високовольтних установок з нелінійним навантаженням»

4.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах принцип роботи еталону одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 180 кВ, а також джерела високої напруги відповідного еталону, в цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту «Дослідження режимів напруги високовольтних установок з нелінійним навантаженням»

Ідея проекту полягає в підвищенні точності вимірювання високих напруг у системах постійного струму промислової частоти, що уточнено наведено в табл.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Підвищення точності вимірювання високих напруг у системах постійного струму промислової частоти	1. Випробувальні та вимірювальні установки	Зменшення вартості установок та випробувань
	2. Електрозварювальне обладнання	Підвищення ефективності та якості продукції
	3. Металургія та нафтопереробка	Зменшення собівартості продукції

Після аналізу всіх цих аспектів можна впевнено сказати про доцільність і ефективність вводу цієї ідеї як об'єкта для стартапу.

Для успішного комерційного впровадження ідеї необхідно визначити потенційні сильні, слабкі та нейтральні сторони проекту. Проведений аналіз потенційних техніко-економічних переваг варіантів, показаний на табл. 4.2, що передбачає визначення переліку техніко-економічних властивостей та

характеристик ідеї, проведений порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначені показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні)[17].

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтра- льна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Siemens	ABB			
1.	Використання удосконаленого режиму дозволяє зменшити собівартість	+	-	-			+
2.	Зі збільшенням опорів R_2 та R_3 коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_{II} зменшується фактично в 1,5 рази	+	-	-			+
3.	За рахунок використання більш сучасних елементів збільшується надійність схеми	+	+	+		+	
4.	Незначне підвищення чутливості до коливань напруги в мережі	-	+	+	+		

За приведеним переліком слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару можна стверджувати про конкурентоспроможність удосконаленої моделі спеціалізованої високовольтної установки.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (мови програмування), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту. MathCAD – це могутнє й у той же час просте універсальне середовище для розв’язання задач у різних галузях науки і техніки, фінансів і економіки, фізики й астрономії, математики і статистики. MathCAD залишається єдиною системою, у якій опис розв’язання математичних задач задається за допомогою звичайних математичних формул і знаків. MathCAD дозволяє виконувати як чисельні, так і аналітичні (символьні) обчислення, має надзвичайно зручний математико-орієнтований інтерфейс і прекрасні засоби наукової графіки.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту[17]

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Аналітичне дослідження режимів електроживлення високовольтної еталонної установки постійного струму	Дану модель схеми можливо створити за допомогою будь-якої програми призначеної для інженерно математичного програмного забезпечення	Дана технологія наявна , але її потрібно доробити	Авторам проекту вони доступні.
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: розрахунок режимів високовольтного джерела напруги постійного струму				

Висновок: аби впровадити запропоновані ідеї потрібно мати доступ до будь-якої програми інженерно математичного програмного забезпечення. В даному випадку використовується програма MathCAD оскільки вона повністю задовольняє всі вимоги.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Розрахунок економічної ефективності застосування нової моделі спеціалізованої високовольтної установки необхідно виконати з урахуванням перспективної ціни, яка буде менше. Це підтверджує досвід виробничого об'єднання з розробки та виготовлення перетворювальних пристроїв.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.1. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту[17]

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	10
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	~55000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Виробники приймуть модель, як доцільну, лише після порівняння
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідома

Роблячи висновок з таблиці 4.4 потрібно зазначити, що вихід на ринок не має перешкод та має порівняно прості вимоги до впровадження на підприємствах. Потенційними клієнтами є група підприємств які часто створюють сучасні типи спеціалізованих високовольтних установок,

підприємства що активно використовують електролітичне гальванування, електростатичну фільтрацію газів від твердих частинок, та займаються метрологічними дослідженнями та використовують високовольтні вимірювальні установки.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.2. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Висока собівартість режиму спеціалізованої високовольтної установки при аналогічній чи гіршій ефективності	Підприємства та організації, що активно використовують електролітичне гальванування, електростатичну фільтрацію газів від твердих частинок	Поведінку клієнта формують інші моделі які були створені раніше.	Використовувати лише в деякому затвердженому діапазоні.
2	Висока собівартість режиму високовольтної установки	Організації що займаються метрологічними дослідженнями та використовують високовольтні вимірювальні установки.	Поведінку клієнта формують стандарти ГОСТ, ISO, ДСТУ	Використовувати лише по стандартизованій системі вимірювань та випробувань.(точність в роботі режиму має бути підтверджена)

3	Висока собівартість високовольтної установки	Виробники високовольтних установок	Поведінку клієнта формують стандарти ГОСТ, ISO, ДСТУ а також явність економічних переваг над іншими моделями	Застосовувати лише в електротехніці
---	--	------------------------------------	--	-------------------------------------

За визначеними факторами конкурентоспроможності проведений аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 4.6).

Таблиця 4.3. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Насичення ринку продукцією, існує попит на заміну	На ринку високовольтних установок на зараз відсутній підвищений інтерес до новинок. Ринок споживача а не продавця	Активні заходи з просування
2.	Зростання інтенсивності інтересу з боку іноземних конкурентів	Посилення конкурентної боротьби	Чітке позиціонування на сегмент економ

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.4. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Зростання інтересу інвесторів у продукції галузі	За специфікою побудови старих моделей нові швидко зацікавлять простою модернізацією та значним економічним ефектом	Потенційне розширення виробництва
2.	Зростання загального обсягу виробництва клієнтської галузі	Збільшення попиту на компоненти	Планування резерву до розширення виробництва
3.	Зростання курсу валюти, зростання вартості електроенергії	Зростання загальних витрат споживачів, зростання закупівельних цін	Позиціонування за ціною

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.8. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	ABB Siemens	Pulsar	Велика кількість постачальників	Укренерго, Укрдержметрстандарт	Немає
Висновки:	Інтенсивність конкурентної боротьби є середньою	Вихід на ринок є. Конкурентів достатньо, можливі загрози	Постачальник не диктує умови.	Відповідність товару всім ГОСТ, ДСТУ, ISO, та економічна вигода	Немає, оскільки інші моделі дорожче та мають гірші характеристики.

Оптимізований режим є доволі універсальним та має не багато конкуренції, завдяки покращенню його економічних показників при збереженні та покращенні електротехнічних характеристик режиму - що робить його привабливим для клієнтів. Тому режим буде привабливим для підприємств та науково дослідних центрів, що займаються створенням спеціалізованих високовольтних установок та метрологічними дослідженнями, використовують високовольтні вимірювальні установки.

Таблиця 4.9. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін впровадження та використання удосконаленої моделі спеціалізованої високовольтної установки

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з METER_Kompany						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Врахування основних електричних характеристик високовольтних установок	19		A S					
2	Зменшення собівартості	19		A S					
3	Використання матеріалів, з іншої наукової літератури	5				A S			
4	Використання матеріалів що підвищують загальну надійність схеми	19		A S					
5.	Необхідний для детального аналізу схеми час	17					A S		

З таблиці 4.9 можна зробити висновки: стартап проект має такі основні переважаючі фактори конкурентоспроможності, як врахування основних електричних характеристик високовольтних установок, зменшення

собівартості, використання матеріалів що підвищують загальну надійність режиму, що в сумі дають рейтинг товарів конкурентів “-6”.

На основі порівняльного аналізу сильних і слабких сторін впровадження та використання удосконаленої моделі спеціалізованої високовольтної установки та факторів загроз і можливостей проведено SWOT аналіз стартап-проекту, який наведено у таблиці 4.10.

Таблиця 4.5. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Врахування основних електричних характеристик високовольтних установок	Час, необхідний для детального аналізу режиму
Зменшення собівартості	Використання матеріалів, з іншої наукової літератури
Використання матеріалів що підвищують загальну надійність режиму	
Можливості: на основі аналізу впливу опорів на характеристики та використання удосконаленої моделі високовольтної установки можливо створювати та удосконалювати існуючі моделі високовольтних установок та модернізувати старі.	Загрози: Необхідність модернізації існуючих та створення нових високовольтних установок повинна бути обґрунтована глибоким аналізом, що потребує наукової бази – що може відлякати підприємства та організації з занадто малими обсягами

Найкращий період для введення в виробництво та впровадження удосконаленої моделі спеціалізованої високовольтної установки в період з 2020 по 2022 рік, після детального аналізу моделі.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.6. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Виробництво з застосуванням фільтрації газів від твердих частинок та електролітичне гальванування	достатня	режими можуть користуватися великим попитом	можлива	Проста, через велику собівартість старих режимів
2	Науково- дослідні центри	велика	режими можуть користуватися великим попитом	немає	Проста, через збереження та покращення характери стик
Які цільові групи обрано: обидві					

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.7. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Диференційов аний маркетинг	усунення надмірностей в оздобленні товару без погіршення його якості і привабливості	стратегія лідерства за витратами

Основною ідеєю компанії є зменшення собівартості модернізованої моделі, компанія зосереджена на двох сегментах розвитку, використовується стратегія лідерства за витратами.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.13).

Таблиця 4.8. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Так, так	ні	лідерство за витратами

Таблиця 4.9. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспро можні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Універсальність, інтуїтивність і простота у налаштуванні	Привабливості більшої кількості клієнтів	Новизна та оптимізація існуючих аналогів	Економічність, рентабельність, технічна підтримка

Розвиток полягає у створенні режиму який відрізняється від аналогів, якщо такі існують, та удосконалення його на всіх платформах, що можуть використовувати даний продукт.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.15 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.10. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Наукова база, інвестиції.	Вигода при використанні нових режимів, і оптимізації старих джерел високої напруги	Аналоги відсутні

2	Виробництво (та як наслідок закупівля сировини) чи закупівля необхідних компонентів для режиму	Зменшення собівартості	Глибокий аналіз режимів на основі розвинутої теорії, що дає змогу точно визначати необхідні характеристики для конкретних цілей режиму
3	Глибокі дослідження на основі наукової бази	Врахування основних електричних характеристик високовольтних установок	Чітка відповідність стандартам та нормам, відсутність погіршення характеристик, наявність покращення характеристик
4	Сучасні матеріали та спеціалізована сировина	Використання новітніх матеріалів	Підвищення надійності

Далі, в таблиці 4.16 на основі отриманих маркетингових переваг ми маємо змогу розробити трирівневу маркетингову модель продукту, його фізичні складові та особливості.

Таблиця 4.11. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
Оптимізований режим високовольтної установки	Режим стає значно дешевшим в собівартості, та ефективніший за характеристиками		
Спеціалізована високовольтна установка з нелінійним навантаженням	Властивості/характеристики	%	Од
	1. Економічні – понижено собівартість	5	(у.о.)
	2. Технологічні – режим оптимізовано	1.1	(пульс.)
	ГОСТ 1516.2		
	Дерев'яний ящик		
	В залежності від цільового користувача - спеціалізована високовольтна установка		
Нова установка чи модернізований старий режим	Підтвердження метрологічними випробуваннями		
	Гарантія		
товар буде захищено ліцензійною голографічною етикеткою			

Товар буде захищено як винахід, інтелектуальна власність

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на високовольтну установку, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.17).

Таблиця 4.17. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	~5000	4000	~250000- 300000000	3500 - 3800

Визначимо оптимальну систему збуту

Таблиця 4.18. Формування системи збуту[17]

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Жорстка відповідність держаній системі стандартів та норм	Відповідна якість товару	До кінцевого споживача	Замовляння товару інтернетом та державні замовлення за тендером

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.19).

Таблиця 4.19. Концепція маркетингових комунікацій[17]

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Вимоги до відповідності держаним стандартам та нормам	Інтернет, система тендерних державних замовлень « PROZORRO »	Економічна перевага, технологічна перевага	Економія та покращення виробничих характеристик	Проведення рекламної інтернет кампанії та низки презентацій цільовим державним структурам

За результатами аналізу, виконаного при розробці стартап проекту була обрана стратегія заняття конкурентної ніші.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок, що дослідження режимів напруги високовольтних установок з нелінійним навантаженням забезпечує підвищення точності вимірювання високих напруг у системах постійного струму промислової частоти, дозволяє зменшити собівартість, підвищити ефективність та якість продукції споживачів установок високої напруги.

Проведений порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначені показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні).

Роблячи висновок з таблиці 4.4 потрібно зазначити, що вихід на ринок не має перешкод та має порівняно прості вимоги до впровадження на підприємствах. Потенційними клієнтами є група підприємств які часто створюють сучасні типи спеціалізованих високовольтних установок, підприємства що активно використовують електролітичне гальванування, електростатичну фільтрацію газів від твердих частинок, та займаються метрологічними дослідженнями та використовують високовольтні вимірювальні установки.

Розвиток полягає у створенні режиму який відрізняється від аналогів, якщо такі існують, та удосконалення його на всіх платформах, що можуть використовувати даний продукт.

За результатами аналізу, виконаного при розробці стартап проекту була обрана стратегія заняття конкурентної ніші.

Правильне просування цього проекту дає змогу успішно стартувати на ринку.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі розглянуто принцип роботи еталону одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 180 кВ, а також джерела високої напруги відповідного еталону.

В роботі було проведено відповідні розрахунок режимів джерела живлення еталонної установки високої напруги постійного струму з урахуванням впливу опорів R_2 та R_3 , за допомогою яких було розраховане значення напруги U_m , амплітуди пульсацій $\Delta_1; \Delta_2$ та коефіцієнта амплітуди пульсацій Δ_{Π} в різних режимах живлення установки.

1. Розглянутий еталон призначений для відтворення та зберігання одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 180 кВ і передавання розміру одиниці за допомогою робочих еталонів робочим засобам вимірювальної техніки (ЗВТ) з метою забезпечення єдності вимірювань в країні. Еталон відіграє важливу роль у розвитку приладів призначених для вимірювання високих напруг. В основі еталона лежить метод масштабного перетворення вихідної напруги від 1кВ до 180 кВ.
2. Джерело високої напруги еталону постійного струму 1 – 180 кВ призначене для зберігання і передачі розмірів коефіцієнта ділення високих напруг і одиниці напруги зразковим і робочим засобам вимірювань. Область його застосування – це вимірювання і дослідження метрологічних характеристик обладнання, на якому проводяться випробування високовольної ізоляції, апаратури та конструкцій.
3. Були розраховані режими високовольного джерела напруги постійного струму еталону в діапазоні від 1 до 180 кВ за допомогою комп'ютерної програми MathCAD 14, що дало можливість дослідити вплив опорів R_2 та R_3 на коефіцієнт амплітуди пульсацій установки високої напруги постійного струму.
4. Розраховано параметри схеми живлення зразка установки високої напруги постійного струму. Можна зазначити, що в режимі робочої

напруги 1 кВ амплітуда пульсації напруги фактично складає 0,38 % (за проведеними розрахунками – 0.3814 %), а в режимі 180 кВ – 0.0111 %. Коефіцієнт пульсацій Δ_{Π} суттєво залежить від режиму установки високої напруги постійного струму та її навантаження.

5. З отриманих результатів можна сказати, що зі збільшенням опорів R_2 та R_3 коефіцієнт амплітуди пульсацій Δ_{Π} зменшується фактично в 1,5 рази.
6. Одержані результати показують, що запропонований аналітичний метод дозволяє здійснювати точні розрахунки режимів напруги високовольтних установок з нелінійним навантаженням, що визначають їх якісні характеристики як джерел живлення високовольтних технологічних установок.
7. Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок, що дослідження режимів напруги високовольтних установок з нелінійним навантаженням забезпечує підвищення точності вимірювання високих напруг у системах постійного струму промислової частоти, дозволяє зменшити собівартість, підвищити ефективність та якість продукції споживачів установок високої напруги. Правильне просування цього проекту дає змогу успішно стартувати на ринку.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бржезицький, В. О. Обґрунтування вибору стабілітронів і режимів електроживлення еталонних установок високої напруги постійного струму/ В. О. Бржезицький, Р. В. Вендичанський, О. М. Десятов, Я. О. Гаран // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 1. – С. 7-13.
2. Зайцева, С. А. Метрология, стандартизация и сертификация в энергетике / С. А. Зайцева, А. Н. Толстой и др. – М.: ИЦ «Академия», 2009. – С. 16-75.
3. Голомедов, А. В. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: справочник / А. Б. Гитцевич, А. А. Зайцев, В. В. Мокряков и др.; под ред. А. В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 347-350.
4. Internationalstandard IES 60/2 High-voltage test techniques. – Part 2: Measuring Systems – 1994 – 139p.
5. Ю.Шваб А. Измерения на высоком напряжений: Измерительные приборы и способы измерения 2 - е изд., перераб. и доп. Перев. с немецкого - М.: Энергоатомиздат. - 1983.- 254 с.
6. П.Болотин И.Б., Зйдель Л.З. Измерение при испытании аппаратов в режимах короткого замыкания. - 3 - е изд. перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. отдел. - 1988. - 200 с.
- 7.Испытательные и электрофизические установки. Техника эксперимента/ В.А. Авруцкий, И.П. Кужекин, Е.Н. Чернов: под ред. И.П. Кужекина -М.: Моск. энергетич. ин - т, 1983. - 260 с.
- 8.ГОСТ 1516.2 - 76. Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции.
- 9.Шифрин Л.Н., Френкель В.Ю., Носачев В.А. Техничко-экономическая зффеektivность снижения испытательных напряжений трансформаторов сверхвысокого напряжения // Електротехника. - 1975. - №4. - 1-4.

10. Геддей С. и др. Контроль гармонических искажений в электрических сетях Австралии // В кн.: Влияние электроустановок высокого напряжения на окружающую среду. Пер. докл. межд. конф. По большим электрическим системам СИГРЗ - 85. Под ред. Ю.П. Шкарина. М.: Энергоатомиздат. - 1988 с.51-59.
11. Николайченко В.Г. Электрогирационные измерительные преобразователи высокого напряжения // В кн.: Тезисы докладов респ. научно-технич. конф. «Электрофизические и прикладные вопросы высоковольтных измерений». Запорожье. - 1990. - с.44 - 45.
12. Мищук Т.В., Ярославский В.Н. Високочастотное образцовое средство измерения амплитуды коммутационных импульсов напряжения до 800 кВ // В кн.: Тезисы докладов респ. научно-технич. конф. «Электрофизические и прикладные вопросы высоковольтных измерений». Запорожье. - 1990. - с.68-70.
13. Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения: Пер. с нем. /М. Байер и др. Под. ред. В.П. Ларионова. - М.: Энергоатомиздат. - 1989. - 555 с.
14. Б.С. Бржезицкий В.О., Десятов О.М., Сулейманов В.М., Хомініч В.І. Аналіз пульсацій високовольтного каскадного генератора напрути постійного струму
Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – No 1/1(21). – С. 56-61.
15. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества технических средств в системах электроснабжения общего назначения.
16. Бржезицкий В.О., Исакова А.В., Рудаков В.В. та ін. Техніка і електрофізика високих напруг: Навч. Посібник / НТУ «КП» - Торнадо, 2005. – 930с.
17. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша, Київ : НТУУ «КП», 2016. – 30 с.